

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPTO. ING. MECÁNICA



**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA INSTALACIÓN DE  
RECUPERADORES DE CALOR AIRE-AIRE EN AUDITORIOS SEGÚN ZONAS  
CLIMÁTICAS EN CHILE.**

Informe de Habilitación Profesional presentado  
en conformidad a los requisitos para optar al  
título de Ingeniero Civil Mecánico.

Profesor Guía:

**Sr. REINALDO SÁNCHEZ ARRIAGADA**

**YUSEFPE BERNABE HENRÍQUEZ ORELLANA**

**CONCEPCIÓN – CHILE**

**2015**

## Resumen

El presente estudio ha permitido determinar la factibilidad de desarrollar en el país la capacidad de generar y suministrar un recuperador de calor a partir de la temperatura ambiente. Se hizo un análisis a lo largo de Chile, tomando en consideración solamente cuatro ciudades las cuales cumplen con los requisitos empleados.

El estudio tiene como fin realizar una comparación sobre qué tipo de recuperador conviene utilizar (según su modelo y su rendimiento) en un recinto dimensionado según el número de personas en su interior. Para ello se han realizaron cálculos de pérdida por transmisión de calor y de renovación de aire (relacionado al recinto) y cálculos de consumo de energía (por parte del recuperador de calor), estos cálculos están respaldados según programa Microsoft Excel para un período de evaluación de seis meses (Abril, Septiembre) teniendo en cuenta que su propósito era de calefaccionar los recintos.

Adicionalmente el estudio tiene como beneficio realizar una recuperación de la inversión aplicada en el equipo y parte de su instalación, teniendo en cuenta la cantidad de años que va a demorar en cubrir dicha inversión.

Los resultados indican que en la mayoría de los casos, es conveniente implementar recuperadores de calor desde la región del Bio-Bio al sur en donde la renovación de aire del recinto y el consumo de energía del recuperador de calor es mayor a diferencia del resto de las ciudades, por lo que se requirió un recuperador de calor con mayor rendimiento y una mayor inversión para lograr su recuperación en una menor cantidad de años.

El equipo que cumplió con los requisitos fue un recuperador de calor con rendimiento de un 80% y con un caudal máximo de 8.000 (m<sup>3</sup>/h). Este equipo recuperó su inversión en 324 días siendo el más efectivo con respecto a los demás que fueron evaluados.

Por lo tanto fue recomendable su utilización en Chile, porque las condiciones ambientales en el sector sur del país son casi extremas, en el sentido de que sus temperaturas están, en promedio, bordeando los 0 °C y un sistema de calefacción de éste tipo es indispensable para cualquier tipo de edificio, hogar o recinto.

**INDICE:**

<b>CAPITULO 1: INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
1.1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.- OBJETIVOS. ....	2
1.2.1.- Objetivo general.....	2
1.2.2.- Objetivos específicos. ....	2
<b>CAPITULO 2: RECUPERADOR DE CALOR Y SU NORMA.....</b>	<b>3</b>
2.1.- ¿QUÉ ES UN RECUPERADOR DE CALOR? .....	3
2.2.- ¿CÓMO FUNCIONA UN RECUPERADOR DE CALOR? .....	3
2.3.- CARACTERÍSTICAS: .....	4
2.4.- TIPOS DE INTERCAMBIADORES. ....	5
2.4.1.- Intercambiador de flujos cruzados.....	5
2.4.2.- Intercambiador de flujos paralelos.....	5
2.4.3.- Intercambiador Rotativo.....	6
2.5.- ELEMENTOS OPCIONALES PARA INCORPORAR EN EL INTERCAMBIADOR. ....	6
2.5.1.- Unidades de filtración. ....	6
2.5.2.- Baterías de agua. ....	7
2.5.3.- By-Pass.....	7
2.5.4.- Módulo Enfriamiento Adiabático. ....	8
2.6.- BENEFICIOS DE LOS RECUPERADORES DE CALOR: .....	9
2.6.1.- Salud.....	9
2.6.2.- Ahorro energético. ....	9
2.6.3.- Ecología.....	9
2.7.- PROBLEMAS TÉCNICOS QUE PUDIESEN PRESENTAR LOS RECUPERADORES DE CALOR. ....	10
2.8.- RITE (REGLAMENTO DE INSTALACIONES TÉRMICAS EN EDIFICIOS).....	11
2.8.1.- Ámbito de aplicación. ....	11
2.8.2.- Recuperación de calor del aire de extracción. ....	12
<b>CAPITULO 3: RECINTOS A DIMENSIONAR Y SU NORMA.....</b>	<b>12</b>
3.1.- OGUC (ORDENANZA GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES).....	12
3.1.1.- OGUC en el área de arquitectura.....	12
3.1.2.- Complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados:.....	14
3.1.3.- Locales escolares y hogares estudiantiles. ....	17

<b>CAPITULO 4: CIUDADES A EVALUAR.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPITULO 5: DESARROLLO DEL PROYECTO.....</b>	<b>21</b>
5.1.- DESCRIPCIÓN.....	21
5.2.- CÁLCULO DE LA PÉRDIDA TOTAL DE CALOR. ....	22
5.2.1.- Cálculo de la pérdida total por transmisión de calor. ....	22
5.2.2.- Cálculo de la pérdida por renovación de aire. ....	30
5.3.- CÁLCULO DEL CONSUMO DE ENERGÍA DEL RECUPERADOR DE CALOR. ....	32
5.4.- CÁLCULO DEL AHORRO Y EL PERÍODO DE RECUPERACIÓN.....	35
<b>CAPITULO 6: RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
6.1.- REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL CONSUMO DE ENERGÍA DEL RECUPERADOR EN LOS DÍAS DE REFERENCIAS DE CADA MES EN EL PERÍODO DE EVALUACIÓN.....	37
6.2.- REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL AHORRO ANUAL. ....	40
6.3.- OBTENCIÓN DEL PERÍODO DE RECUPERACIÓN.....	41
6.4.- RESULTADOS TOTALES CON RESPECTO A LAS DEMÁS CIUDADES. ....	42
6.5.- CONCLUSIÓN. ....	43
<b>7.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>44</b>
<b>8.- ANEXOS.....</b>	<b>45</b>
8.1.- MAPAS DE ZONAS CLIMÁTICAS RESTANTES. ....	45
8.1.1.- Santiago:.....	45
8.1.2.- Valdivia:.....	46
8.1.3.- Punta Arenas:.....	47
8.2.- REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE LAS DEMÁS CIUDADES. ....	48
8.2.1.- Santiago:.....	48
8.2.2.- Valdivia:.....	51
8.2.3.- Punta Arenas:.....	55
8.3.- REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL AHORRO ANUAL DE LAS DEMÁS CIUDADES. ....	58
8.3.1.- Santiago:.....	58
8.3.2.- Valdivia:.....	59
8.3.3.- Punta Arenas:.....	60

## INDICE DE FIGURAS:

Figura n° 1: “Recuperador de Calor y sus partes” .....	4
Figura n°2: “Intercambiador de flujo cruzado” .....	5
Figura n°3: “Intercambiador de flujo paralelo” .....	5
Figura n°4: “Intercambiador rotativo” .....	6
Figura n°5: “Recuperador de Calor con filtro” .....	6
Figura n°6: “Sistema By-Pass en el recuperador de calor” .....	7
Figura n°7: “Sistema de enfriamiento adiabático” .....	8
Figura n°8: “Mapa Zona climática de Concepción” .....	20
Figura n°9: “Vista superior del recinto” .....	24
Figura n°10: “Lados definidos según fórmula de área en la vista superior del recinto” .....	24
Figura n°11: “Enumeración definida según los lados del recinto” .....	25
Figura n°12: “Vistas laterales del recinto” .....	25
Figura n°13: “Vista frontal (2) y posterior (4) del recinto” .....	26
Figura n°14: “Vista superior de la ubicación del recinto” .....	27
Figura n°15: “Vista frontal de la ubicación del recinto” .....	27
Figura 16: “Representación gráfica total de las energías en forma horaria del día 11 de junio” ..	34
Figura 17: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 60%) Concepción” .....	37
Figura 18: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 60%) Concepción” .....	37
Figura 19: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 60%) Concepción” .....	38
Figura 20: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 70%) Concepción” .....	38
Figura 21: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 70%) Concepción” .....	38

Figura 22: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 70%) Concepción”.....	39
Figura 23: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 80%) Concepción”.....	39
Figura 24: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 80%) Concepción”.....	39
Figura 25: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 80%) Concepción”.....	40
Figura 26: “Representación gráfica del ahorro anual en Concepción”. .....	41
Figura 27: “Mapa Zona climática de Santiago”.....	45
Figura 28: “Mapa Zona climática de Valdivia”.....	46
Figura 29: “Mapa Zona climática de Punta Arenas”.....	47
Figura 30: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 60%) Santiago”.....	48
Figura 31: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 60%) Santiago”.....	48
Figura 32: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 60%) Santiago”.....	49
Figura 33: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 70%) Santiago”.....	49
Figura 34: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 70%) Santiago”.....	49
Figura 35: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 70%) Santiago”.....	50
Figura 36: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 80%) Santiago”.....	50
Figura 37: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 80%) Santiago”.....	50
Figura 38: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 80%) Santiago”.....	51

Figura 39: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m3/h) y rendimiento 60%) Valdivia”	51
Figura 40: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m3/h) y rendimiento 60%) Valdivia”	52
Figura 41: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m3/h) y rendimiento 60%) Valdivia”	52
Figura 42: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m3/h) y rendimiento 70%) Valdivia”	52
Figura 43: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m3/h) y rendimiento 70%) Valdivia”	53
Figura 44: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m3/h) y rendimiento 70%) Valdivia”	53
Figura 45: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m3/h) y rendimiento 80%) Valdivia”	53
Figura 46: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m3/h) y rendimiento 80%) Valdivia”	54
Figura 47: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m3/h) y rendimiento 80%) Valdivia”	54
Figura 48: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m3/h) y rendimiento 60%) Punta Arenas”	55
Figura 49: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m3/h) y rendimiento 60%) Punta Arenas”	55
Figura 50: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m3/h) y rendimiento 60%) Punta Arenas”	55
Figura 51: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m3/h) y rendimiento 70%) Punta Arenas”	56
Figura 52: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m3/h) y rendimiento 70%) Punta Arenas”	56
Figura 53: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m3/h) y rendimiento 70%) Punta Arenas”	56

Figura 54: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 80%) Punta Arenas” . . . . .	57
Figura 55: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 80%) Punta Arenas” . . . . .	57
Figura 56: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m <sup>3</sup> /h) y rendimiento 80%) Punta Arenas” . . . . .	57
Figura 57: “Representación gráfica del ahorro anual en Santiago” . . . . .	58
Figura 58: “Representación gráfica del ahorro anual en Valdivia” . . . . .	59
Figura 59: “Representación gráfica del ahorro anual en Punta Arenas” . . . . .	60



## INDICE DE TABLAS:

TABLA 1: Anomalías que pudiese presentar el recuperador de calor con sus causas y sus respectivas soluciones.....	10
TABLA 2: Zonas climáticas con sus respectivas transmitancias y resistencias térmicas según el elemento que constituye la envolvente de la vivienda. ....	15
TABLA 3: Estándares que cumple cada local con respecto al volumen y a las distintas superficies. ....	18
TABLA 4: Dimensionamiento de los recintos según el caudal respectivo. ....	26
TABLA 5: Definición del día de referencia con su horario y temperaturas respectivas.....	29
TABLA 6: Resultados de las pérdidas por transmisión de calor por cada muro, de la techumbre y del piso ventilado, junto con la sumatoria total por cada hora transcurrida. ....	29
TABLA 7: Resultados de la pérdida de calor por renovación de aire por cada hora transcurrida. ....	31
TABLA 8: Pérdida total por transmisión de calor y pérdida por renovación de aire, junto con la sumatoria total por cada hora transcurrida.....	31
TABLA 9: Resultados del consumo de energía del recuperador de calor por cada hora transcurrida.....	33
TABLA 10: Total de las energías en forma horaria. ....	34
TABLA 11: Obtención del Kg/h de cada energía. ....	35
TABLA 12: Obtención del ahorro total.....	36
TABLA 13: Modelos del recuperador de calor con sus respectivos caudales y precios.....	36
TABLA 14: Ahorro anual de cada recuperador de calor con sus respectivos rendimientos y caudales en Concepción.....	40
TABLA 15: Inversión total con respecto a cada recuperador de calor. ....	41
TABLA 16: Períodos de recuperación en la ciudad de Concepción.....	41
TABLA 17: Períodos de recuperación en la ciudad de Santiago:.....	42
TABLA 18: Períodos de recuperación en la ciudad de Valdivia:.....	42
TABLA 19: Períodos de recuperación en la ciudad de Punta Arenas:.....	42

TABLA 20: Ahorro anual de cada recuperador de calor con sus respectivos rendimientos y caudales en Santiago.....	58
TABLA 21: Ahorro anual de cada recuperador de calor con sus respectivos rendimientos y caudales en Valdivia. ....	59
TABLA 22: Ahorro anual de cada recuperador de calor con sus respectivos rendimientos y caudales en Punta Arenas. ....	60

## **CAPITULO 1: INTRODUCCION.**

### **1.1.- Introducción.**

En el interior de los recintos, hogares o edificios en donde se halla una cierta cantidad de personas, se necesita renovar la calidad del aire mediante la inyección de aire limpio (extraído desde el exterior) y la extracción del aire viciado del interior de dichos lugares de vivienda o de trabajo para mantener las condiciones de salubridad, confort y una correcta renovación. Con ello se puede conseguir que la calidad del aire sea el adecuado, de acuerdo a los requerimientos de la normativa de aplicación (RITE).

Cuando no había conciencia de obtener la máxima eficiencia energética, la renovación de aire en los lugares ocupacionales, y los requerimientos normativos no eran tan estrictos; el aire caliente (invierno) o frío (verano) del interior se desaprovechaba, expulsándolo y perdiendo gran parte de la energía directamente hacia el exterior.

Un claro ejemplo es la apertura de puertas y ventanas en los edificios, hogares o recintos aislados en donde la gran mayoría del calor se dispersaba de manera brusca hacia el exterior dejando su interior con una menor temperatura, siendo el invierno el caso más desfavorable mediante este tipo de ventilación.

Para evitar estos tipos de problemas se empleara la implementación del recuperador de calor, que tiene como función la renovación de aire en el interior de los recintos, hogares y edificios mediante el intercambio entre el aire viciado del interior y el aire limpio proveniente del exterior (en el intercambio no ocurre mezcla entre el aire viciado y el aire limpio, solamente existe un precalentamiento por parte del aire viciado hacia el aire limpio).

Esto abarca un estudio de cuatro ciudades a lo largo de Chile, además de la aplicación de tres tipos de recuperadores de calor junto con tres tipos de rendimientos para lograr un mejor estudio y efectividad.

## **1.2.- Objetivos.**

### **1.2.1.- Objetivo general.**

- Evaluar factibilidad técnica y económica para la instalación de recuperadores de calor aire-aire en 3 tamaños diferentes de auditorios para 4 ciudades con diferentes zonas climáticas a lo largo de Chile.

### **1.2.2.- Objetivos específicos.**

- Definir 3 tipos de auditorios con capacidades diferentes y evaluar las cargas térmicas de calefacción y renovación de aire para 4 zonas climáticas diferentes.
- Calcular la demanda horaria de energía para calefacción en período de tiempo definido según operación de los recintos utilizando grados días/hora, diferenciando las demandas por transmisión de calor respecto de las de renovación de aire.
- Evaluar la factibilidad de uso de equipos recuperadores de calor aire-aire para todos los casos analizados, tamaños de recinto y zonas climáticas para determinar si es recomendable o no y donde, su utilización en Chile.

## **CAPITULO 2: Recuperador de Calor y su norma.**

### **2.1.- ¿Qué es un recuperador de calor?**

Un recuperador de calor o intercambiador de calor a contracorriente tiene como objetivo principal la recuperación de energía transfiriendo el calor del aire extraído del interior de un local al calor impulsado del exterior. En un concepto más explícito, su función principal es extraer el aire viciado del interior de recintos, viviendas, oficinas, instalaciones comerciales, instalaciones deportivas, etc. y sustituirlo por aire limpio impulsado del exterior, aprovechando las propiedades psicrométricas (temperatura y humedad) del aire que extraemos del local e intercambiarlas con el aire que impulsamos.

Se beneficiarán de las propiedades térmicas del aire de impulsión a la vez que ventilamos adecuadamente el local.

En este proceso de intercambio no hay mezcla entre el aire del exterior y el aire del interior.

El dimensionamiento de los elementos de los recuperadores debe basarse en el caudal de aire que se necesita renovar.

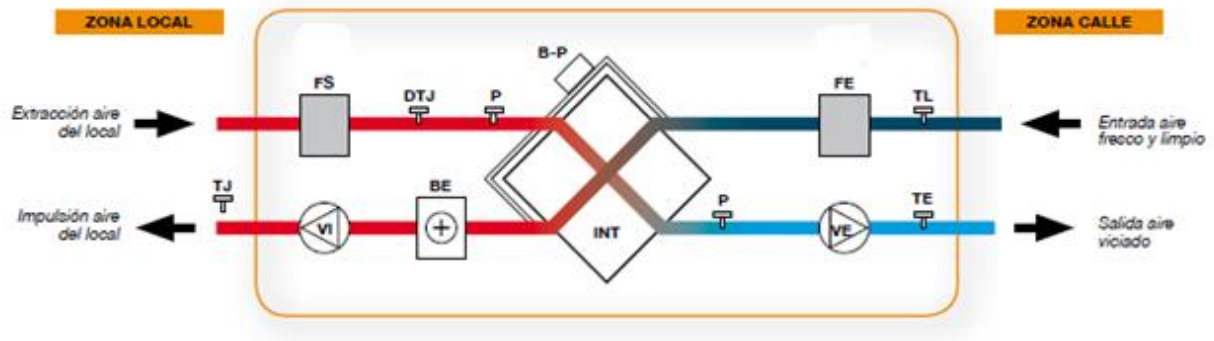
### **2.2.- ¿Cómo funciona un recuperador de calor?**

El recuperador de calor funciona mediante la combinación de dos ventiladores centrífugos de bajo nivel sonoro, donde uno de ellos realiza la extracción del aire viciado del interior del local hacia la calle, y el otro impulsa aire fresco del exterior hacia el interior del local. Los dos circuitos se cruzan sin mezclarse, en un intercambiador de placas, donde el calor del aire saliente, se transfiere al aire fresco del exterior y lo calienta.

De esta forma conseguimos recuperar un alto porcentaje de la energía utilizada para calentar o enfriar el aire del interior del local, y reutilizarla. Sin la utilización del recuperador, esta energía se perdería totalmente.

Las ventajas o beneficios más importantes que conseguimos son:

- Un aire interior limpio y saludable
- Renovación del aire interior óptima
- Mejor control de la climatización
- Aumento de la eficiencia energética
- Disminución de la contaminación acústica
- Ahorro energético
- Se contribuye en la protección del medio ambiente



**Figura n° 1:** “Recuperador de Calor y sus partes”.

**Fuente:** Apunte SODECA, recuperadores de calor y unidades de filtración.

VE: Extractor de aire

VI: Ventilador de impulsión

INT: Intercambiador

BE: Batería eléctrica

FE: Filtro entrada

FS: Filtro salida

TJ: Sensor temperatura aire impulsión

TL: Sensor temperatura aire entrada

TE: Sensor temperatura aire de extracción

DTJ: Sensor de humedad y temperatura

P: Toma de presión

BP: Compuerta By-Pass

### 2.3.- Características:

Los recuperadores de calor se diseñan según el tipo de instalación:

Recuperador de calor para instalación horizontal

Recuperador de calor para instalación vertical

Recuperador de calor para instalación en falso techo (horizontal)

La eficiencia del recuperador de calor está directamente relacionada con el intercambiador. Los más comunes son:

Intercambiador de placas de aluminio a contraflujo.

Intercambiador con placas de flujo cruzado.

Intercambiador rotativo de alta eficiencia.

## 2.4.- Tipos de Intercambiadores.

### 2.4.1.- Intercambiador de flujos cruzados.

Los intercambiadores de flujos cruzados son aquellos en donde el flujo de aire de entrada y salida se cruzan en el interior del “core” en sentido perpendicular uno del otro. Con este tipo de recuperadores se suele conseguir una eficiencia media, de 55% hasta 70%.



**Figura n°2:** “Intercambiador de flujo cruzado”.

**Fuente:** Apunte S&P Sistemas de Ventilación, Recuperadores de Calor.

### 2.4.2.- Intercambiador de flujos paralelos.

Con respecto al intercambiador anterior tienen el mismo tipo de intercambio, pero en este caso los flujos de entrada y salida del aire circulan paralelos y a contracorriente en el interior del “core” con lo cual el tiempo y la superficie de cesión de calor es mayor y por tanto se incrementa la capacidad de recuperación. Con este tipo de recuperadores se suele conseguir una eficiencia hasta del 95%.



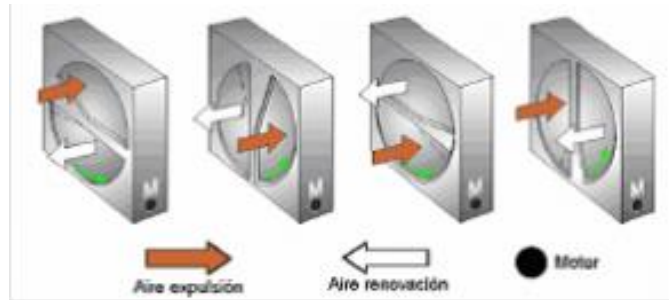
**Figura n°3:** “Intercambiador de flujo paralelo”.

**Fuente:** Apunte S&P Sistemas de Ventilación, Recuperadores de Calor.

### 2.4.3.- Intercambiador Rotativo.

Los intercambiadores rotativos, se componen de un rotor, que es la masa acumuladora de calor, un motor eléctrico y una carcasa.

La eficiencia de este tipo de intercambiador, está entre el 65%-70%.



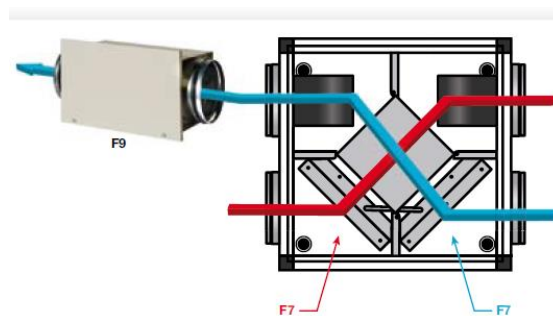
**Figura n°4:** “Intercambiador rotativo”.

**Fuente:** Apunte S&P Sistemas de Ventilación, Recuperadores de Calor.

## 2.5.- Elementos opcionales para incorporar en el intercambiador.

### 2.5.1.- Unidades de filtración.

Son unidades que incorporan los filtros de aire, adecuados para cumplir los requisitos de Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE).



**Figura n°5:** “Recuperador de Calor con filtro”.

**Fuente:** Apunte S&P Sistemas de Ventilación, Recuperadores de Calor.

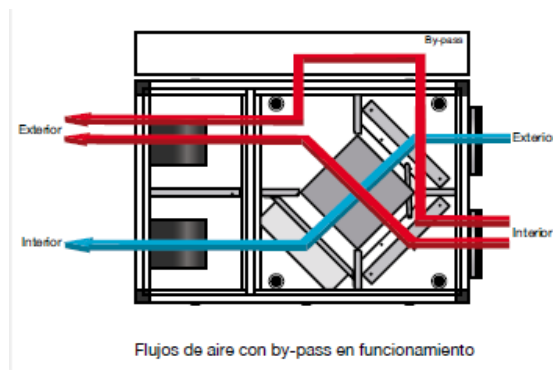


### 2.5.2.- Baterías de agua.

Aunque la función del recuperador, como hemos visto, es ceder calor (o frío en verano) al aire de impulsión, hay situaciones, en que además, es necesario emplear baterías de agua para elevar (o enfriar) mucho más la temperatura de impulsión. Sería el caso de instalaciones situadas en zonas geográficas, cuya temperatura en invierno sea muy baja (o en verano muy alta), con lo que, además de ceder calor (o frío) en el recuperador, haremos pasar agua caliente (o agua fría) por la batería, consiguiendo condiciones más favorables y evitando sensaciones desagradables en el interior.

### 2.5.3.- By-Pass.

Gran parte de los recuperadores de calor pueden incorporar un dispositivo denominado **by-pass**. El **by-pass** consiste en un sistema que desvía el flujo de aire para que no pase a través del recuperador y por tanto no se realice el intercambio térmico entre los dos flujos de aire. La utilidad de este dispositivo es aprovechar al máximo las condiciones ambientales para promover el ahorro energético.

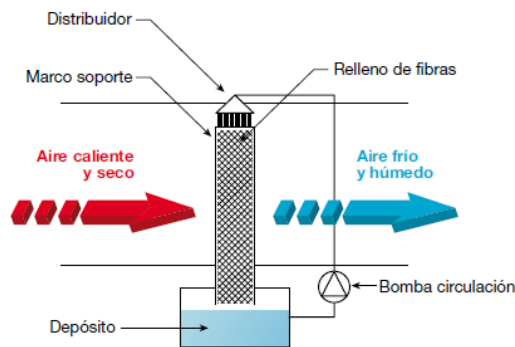


**Figura n°6:** “Sistema By-Pass en el recuperador de calor”.

**Fuente:** Apunte S&P Sistemas de Ventilación, Recuperadores de Calor.

#### 2.5.4.- Módulo Enfriamiento Adiabático.

El enfriamiento adiabático consiste en enfriar el aire mediante la humectación del mismo. En este proceso, no hay aporte ni cesión de calor al ser adiabático. Se instala en el lado del aire de extracción antes del intercambiador, y funcionará en régimen de verano. De esta forma, cuando el aire proveniente del local entre en el intercambiador más frío y húmedo, aumentaremos el gradiente de temperatura, con lo que el aire que entre al local será más frío, **aumentando la eficiencia del recuperador.**



**Figura n°7:** “Sistema de enfriamiento adiabático”.

**Fuente:** Apunte S&P Sistemas de Ventilación, Recuperadores de Calor.

Un dato importante es sobre las temperaturas exteriores en invierno, ya que al ser muy frías puede que se acumule escarcha en el circuito de renovación. Si esto se produce, los recuperadores suelen incorporar un dispositivo que detiene o ralentiza el ventilador que aporta aire exterior, para que el aire extraído del interior (más cálido) elimine la escarcha, tras lo cual el funcionamiento continua en su forma normal.

Los recuperadores de calor, además de tener la función de renovar el aire dentro de un recinto, también tienen beneficios.

## **2.6.- Beneficios de los Recuperadores de Calor:**

### **2.6.1.- Salud.**

La aspiración diaria y continuada de los contaminantes (polen, polvo, etc.) que contiene el ambiente exterior, es de carácter grave y puede perjudicar nuestra salud, ya que esto se va acumulando y creciendo día a día. El recuperador de calor dispone de distintas etapas de filtrado que garantizan una calidad de aire óptima.

### **2.6.2.- Ahorro energético.**

El ahorro energético es fundamental para estos tipos de beneficios, puesto que, por ejemplo en una vivienda, en función de los ocupantes, tamaño, cantidad de baños, etc. se requiere incorporar un sistema de ventilación forzado que garantice un caudal de aire de renovación constante en el interior de la vivienda ya que puede necesitar renovar el volumen de aire total que contiene en su interior entre cada hora o dos horas. Esto hace que la demanda de calor o frío de la vivienda hayan cambiado mucho en los últimos años. Esta ventilación mecánica significa una pérdida de calor que llega a superar el 50% de la demanda térmica de la vivienda.

### **2.6.3.- Ecología.**

Menor consumo energético implica una menor producción de CO<sub>2</sub>.

Los recuperadores de calor puede que presenten algunos problemas técnicos referentes a su forma y diseño; a continuación de darán a conocer algunas anomalías con sus respectivas causas y soluciones:

**2.7.- Problemas técnicos que pudiesen presentar los recuperadores de calor.**

**TABLA 1:** Anomalías que pudiese presentar el recuperador de calor con sus causas y sus respectivas soluciones.

Anomalía	Causa	Solución
Arranque difícil.	Tensión de alimentación reducida. Par estático del motor insuficiente.	Verificar datos de placa del motor. Cerrar las entradas de aire para alcanzar la máxima velocidad. Si es necesario, cambie el motor.
Caudal de aire insuficiente. Presión insuficiente.	Tuberías atascadas y/o puntos de aspiración cerrados. Ventilador obstruido. Filtro sobrecargado. Velocidad de rotación insuficiente. Paquete intercambiador obturado.	Limpieza de los tubos de aspiración. Limpieza del ventilador. Limpiar o sustituir el filtro. Verificar la tensión de alimentación. Limpieza del intercambiador.
Caída de rendimiento después de un periodo de funcionamiento aceptable.	Fuga en el circuito antes y/o después del ventilador. Rodete dañado.	Verificación del circuito y restauración de las condiciones originales. Verificar el rodete y en caso necesario, sustituirlo con un recambio original.
Temperatura aire nuevo demasiado fría.	Aire exterior inferior a -5°C.	Inserción dispositivos de pos calentamiento.
Rendimiento insuficiente del intercambiador.	Aletas intercambio sucias.	Limpieza del intercambiador.
Formación de escarcha en el intercambiador.	Aire exterior inferior a -5° C.	Inserción de dispositivos de precalentamiento (anti-hielo).
Pulsación de aire.	Ventilador que trabaja en condiciones de caudal casi igual a 0. Inestabilidad de flujo, obstrucción o mala conexión.	Modificación del circuito y/o sustitución del ventilador. Limpieza y/o reajuste canales de aspiración. Intervenir en el regulador electrónico aumentando la velocidad mínima (voltaje insuficiente).
Agua en el interior del equipo.	Desagüe obstruido o mal dimensionado.	Verificar si existe algún cuerpo/objeto que obstruya el paso del agua y retírelo.

## **2.8.- RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios).**

El RITE tiene por objetivo establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento.

### **2.8.1.- Ámbito de aplicación.**

- A efectos de la aplicación del RITE se considerará como instalaciones térmicas las instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria, destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas.
- El RITE se aplicará a las instalaciones térmicas en los edificios de nueva construcción y a las instalaciones térmicas en los edificios construidos, en lo relativo a su reforma, mantenimiento, uso e inspección, con las limitaciones que en el mismo se determinarán.
- Se entenderá por reforma de una instalación térmica todo cambio que se efectúe en ella y se suponga una modificación del proyecto o memoria técnica con el que fue ejecutada y registrada. En tal sentido, se consideran reformas las que estén comprendidas en algunos de los siguientes casos:
  - a) La incorporación de nuevos subsistemas de climatización o de producción de agua caliente sanitaria o la modificación de los existentes;
  - b) La sustitución por otro de diferentes características o ampliación del número de equipos generadores de calor o de frío;
  - c) El cambio de tipo de energía utilizada o la incorporación de energías renovables;
  - d) El cambio de uso previsto del edificio.
- No será de aplicación el RITE a las instalaciones térmicas de procesos industriales, agrícolas o de otro tipo, en la parte que no esté destinada a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas.

### **2.8.2.- Recuperación de calor del aire de extracción.**

La recuperación de calor del aire de extracción se dispone que:

- a) En los sistemas de climatización de los edificios en los que el caudal de aire expulsado al exterior por medios mecánicos, sea superior a 0,5 (m<sup>3</sup>/s), se recuperará la energía del aire expulsado.
- b) Sobre el lado del aire de extracción se instalará un aparato de enfriamiento adiabático.

### **CAPITULO 3: Recintos a dimensionar y su norma.**

Los recintos a dimensionar van a depender de la cantidad de personas que se encuentren dentro y además del tipo de recuperador de calor que se va a utilizar (en este caso viene siendo el caudal que entrega cada recuperador de calor).

La zona climática no afecta en la dimensión del recinto, por lo tanto el recinto será el mismo para las ciudades a evaluar.

El recinto debe cumplir requisitos y para ello se empleara la normativa OGUC.

#### **3.1.- OGUC (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones).**

La presente Ordenanza reglamenta la Ley General de Urbanismo y Construcciones, y regula el procedimiento administrativo, el proceso de planificación urbana, el proceso de urbanización, el proceso de construcción, y los estándares técnicos de diseño y de construcción.

##### **3.1.1.- OGUC en el área de arquitectura.**

Según la OGUC en el área de arquitectura, las condiciones a seguir son las siguientes:

**Artículo 4.1.1.** En las edificaciones o parte de ellas destinadas a vivienda, hospedaje, oficinas y comercio, se considerarán:

- a) **Locales habitables:** los destinados a la permanencia de personas, tales como: dormitorios o habitaciones, comedores, salas de estar, oficinas, consultorios, salas de reunión y salas de venta.

- b) Locales no habitables:** los destinados al tránsito o estadía esporádica de personas, tales como cuartos de baño, cocinas, salas de vestir, lavaderos, vestíbulos, galerías o pasillos.

Los locales habitables tendrán una altura mínima de piso a cielo, medida en obra terminada, de 2,30 (m), salvo bajo pasadas de vigas, instalaciones horizontales y áreas menores de recintos ubicados directamente bajo techumbres inclinadas.

La medida vertical mínima de obra terminada en pasadas peatonales bajo vigas o instalaciones horizontales será de 2 (m).

El estándar de terminaciones de las edificaciones que contemplen locales habitables no podrá ser inferior a las definidas en esta Ordenanza como obra gruesa habitable.

Se exceptúan de las disposiciones de este artículo los recintos de cualquier tipo destinados a bodega o instalación de maquinaria y los lugares de registro o mantención de instalaciones.

**Artículo 4.1.2.** Los locales habitables deberán tener, al menos, una ventana que permita la entrada de aire y luz del exterior, con una distancia mínima libre horizontal de 1,5 (m) medida en forma perpendicular a la ventana cuando se trate de dormitorios. Sin embargo, se admitirán ventanas fijas selladas siempre que se contemplen ductos de ventilación adecuados o sistemas de aire acondicionado conectados al grupo electrógeno automático y que no se trate de dormitorios o recintos en los que se consulten artefactos de combustión de cualquier tipo. Asimismo, las salas de reunión o de ventas y los locales de cualquier tipo pertenecientes a un centro comercial cerrado, podrán no consultar ventana siempre que dispongan de un sistema de climatización artificial.

Los locales no habitables sin ventana o con ventanas fijas deberán ventilarse a través de un local habitable, o bien contemplar algún sistema de renovación de aire.

**Artículo 4.1.5.** Los locales según sus condiciones acústicas, se clasificaran en los siguientes grupos:

- a) Locales que por su naturaleza deben ser totalmente aislados de las ondas sonoras exteriores y en los cuales los sonidos interiores deben extinguirse dentro de las salas en que son producidos: estudios de grabación de películas cinematográficas o de discos, salas de transmisión de radiotelefonía, salas de hospitales, de estudios de música, de escuelas, bibliotecas y audición de alta calidad.

- b) Locales parcialmente aislados que pueden recibir ondas sonoras del exterior, pero en los cuales interesa que esta recepción sea limitada de modo que no tome forma inteligente, capaz de provocar desviaciones de la atención: hoteles, departamentos, casas habitación, locales destinados al culto, oficinas profesionales o comerciales y las otras salas de audición no comprendidas en la categoría anterior.
- c) Locales sin exigencias acústicas en que indiferente que se propaguen las ondas sonoras en uno u otro sentido, tales como estadios, mercados, restaurantes.
- d) Locales ruidosos, en que el nivel sonoro interior es superior al del exterior y que, por lo tanto, deben ser tratados en forma recíproca a los de los dos primeros grupos, tales como fábricas, estaciones de ferrocarril, centrales o subestaciones eléctricas, imprentas, salas de baile.

Los locales incluidos en el primer grupo en su totalidad y los del segundo grupo que se encuentren ubicados en barrios con alto nivel sonoro medio, de acuerdo con la clasificación que adopte la Dirección de Obras Municipales, deberán someterse a las exigencias establecidas en las Normas Oficiales sobre condiciones acústicas de los locales.

Los edificios del cuarto grupo no podrán construirse en sectores habitacionales ni a distancias menores de 100 (m) de los edificios del grupo uno. Cumplirán, por lo demás, con las disposiciones de las Normas Oficiales en materia de aislamiento antisonórico de los locales que dichas normas especifiquen.

### **3.1.2.- Complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados:**

#### **Exigencias:**

Los complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, entendidos como elementos que constituyen la envolvente de la vivienda, deberán tener una transmitancia térmica “U” igual o menor, o una resistencia térmica total “Rt” igual o superior, a la señalada para la zona que le corresponda al proyecto de arquitectura, de acuerdo con los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del Ministerio de Vivienda y Urbanismo y a la siguiente tabla:



**TABLA 2:** Zonas climáticas con sus respectivas transmitancias y resistencias térmicas según el elemento que constituye la envolvente de la vivienda.

Zona	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

### **Techumbres:**

Para efectos del presente artículo se considerará complejo de techumbre al conjunto de elementos constructivos que lo conforman, tales como cielo, cubierta, aislación térmica, cadenetas, vigas.

Las exigencias de acondicionamiento térmico para la techumbre serán las siguientes:

- En el caso de mansardas o paramentos inclinados, se considerará complejo de techumbre todo elemento cuyo cielo tenga una inclinación de 60° sexagesimales o menos medidos desde la horizontal.
- Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales de la techumbre, tales como cerchas, vigas y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.
- Los materiales aislantes térmicos o las soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, deberán cubrir el máximo de la superficie de la parte superior de los muros en su encuentro con el complejo de techumbre, tales como cadenas, vigas, soleras, conformando un elemento continuo por todo el contorno de los muros perimetrales.
- Para obtener una continuidad en el aislamiento térmico de la techumbre, todo muro o tabique que sea parte de ésta, tal como lucarna, antepecho, dintel, u otro elemento que interrumpa el acondicionamiento térmico de la techumbre y delimite un local habitable o no habitable, deberá cumplir con la misma exigencia que le corresponda al complejo de techumbre, de acuerdo a lo señalado en la Tabla 2 del presente artículo.

- e) Para toda ventana que forme parte del complejo techumbre de una vivienda emplazada entre la zona 3 a 7, ambas inclusive, cuyo plano tenga una inclinación de  $60^\circ$  sexagesimales o menos, medidos desde la horizontal, se deberá especificar una solución de doble vidriado hermético, cuya transmitancia térmica debe ser igual o menor a  $3,6$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ).

### **Muros:**

Para la aplicación del presente artículo se considerará complejo de muro al conjunto de elementos constructivos que lo conforman y cuyo plano de terminación interior tenga una inclinación de más de  $60^\circ$  sexagesimales, medidos desde la horizontal.

Las exigencias de acondicionamiento térmico para muros serán las siguientes:

- a) Las exigencias señaladas en la Tabla 2 del presente artículo, serán aplicables sólo a aquellos muros y/o tabiques, soportantes y no soportantes, que limiten los espacios interiores de la vivienda con el espacio exterior o con uno o más locales abiertos y no será aplicable a aquellos muros medianeros que separen unidades independientes de vivienda.
- b) Los recintos cerrados contiguos a una vivienda, tales como bodegas, leñeras, estacionamientos, invernadero, serán considerados como recintos abiertos para efectos de esta reglamentación, y sólo les será aplicable las exigencias de la Tabla 1 a los parámetros que se encuentren contiguos a la envolvente de la vivienda.
- c) Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos en tabiques perimetrales, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales, tales como pies derechos, diagonales estructurales y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.
- d) En el caso de la albañilería confinada de conformidad a la definición de la NCh 2123, no será exigible el valor de U de la Tabla 2 en los elementos estructurales, tales como pilares, cadenas y vigas.
- e) En el caso de que el complejo muro incorpore materiales aislantes, la solución constructiva deberá considerar barreras de humedad y/o de vapor, según el tipo de material incorporado en la solución constructiva y/o estructura considerada.

- f) En el caso de puertas vidriadas exteriores, deberá considerarse como superficies de ventana la parte correspondiente al vidrio de la misma. Las puertas al exterior de otros materiales no tienen exigencias de acondicionamiento térmico.

### **Pisos Ventilados:**

Para efectos de la aplicación del presente artículo se considerará complejo de piso ventilado al conjunto de elementos constructivos que lo conforman que no están en contacto directo con el terreno. Los planos inclinados inferiores de escaleras o rampas que estén en contacto con el exterior, también se considerarán como pisos ventilados.

Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos en pisos ventilados, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas específicas en el proyecto de arquitectura, solo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales del piso o de las instalaciones domiciliarias, tales como vigas, tuberías, ductos o cañerías.

### **3.1.3.- Locales escolares y hogares estudiantiles.**

**Artículo 4.5.6.** Con el objeto de asegurar un área y volumen de aire adecuados a la capacidad de alumnos, las salas de actividades, salas de clases, los talleres, laboratorios y bibliotecas, deberán cumplir con los estándares que se indican en la tabla siguiente:

**TABLA 3:** Estándares que cumple cada local con respecto al volumen y a las distintas superficies.

NIVEL LOCAL ESCOLAR	DE	VOLUMEN DE AIRE (m <sup>3</sup> /alumno)	SUPERFICIE DE SALA DE CLASES Y ACTIVIDADES (m <sup>2</sup> /alumno)	SUPERFICIE TALLERES Y LABORATORIOS (m <sup>2</sup> /alumno)	SUPERFICIE BIBLIOTECA (m <sup>2</sup> /alumno)
Parvulario:					
- Sala cuna		6,00	2,50	-	-
- Jardín infantil		2,60	1,10	-	-
- General básico y medio		3,00	1,10	1,50	2,00
-Básico Especial		3,00	2,00	-	-
Superior y Educación de adultos		4,50	1,10	1,50	2,00

#### **CAPITULO 4: Ciudades a evaluar.**

En Chile, las zonas climáticas son muy variadas entre Norte, Centro y Sur del país, por lo que la selección de las ciudades será desde el Centro hacia el Sur porque son zonas donde, en periodo de calefacción, se registran temperaturas ambientales por debajo de los 15 °C, una cantidad de horas suficientes anuales como para rentabilizar el uso del recuperador de calor. A continuación se dará a conocer las ciudades seleccionadas con sus respectivas zonas climáticas donde se implementará el recuperador de calor:

- **Santiago:** zona climática n° 3
- **Concepción:** zona climática n° 4
- **Valdivia:** zona climática n° 5
- **Punta Arenas:** zona climática n° 7

Para cada región, la diferencia de temperaturas es sumamente importante porque con esto, se determina en que zona es recomendable, técnica y económicamente, utilizar un recuperador de calor; esto depende del rendimiento y del caudal máximo que entreguen dichos recuperadores.

En Santiago, las temperaturas varían a lo largo del año, pasando de una media de 20 °C durante enero a 8 °C durante junio y julio. En el verano, Santiago es caluroso, con temperaturas que fácilmente llegan a los 32 °C durante las tardes, mientras que las noches suelen ser agradables y templadas bajando ligeramente de los 17 °C al amanecer. Por su parte, en los meses de otoño e invierno, la temperatura desciende y se sitúa algo más bajo de los 10 °C e incluso ocasionalmente de 0 °C, especialmente durante la madrugada.

En Concepción, su temperatura promedio anual es de 12,7 °C, mientras que la promedio en verano es de 17 °C y en invierno de 8 °C.

Las oscilaciones térmicas son moderadas considerando su latitud, esto debido a su cercanía al Océano Pacífico. Los veranos son templados y los inviernos suaves.

En Valdivia, las temperaturas sobrepasan los 20 °C de máxima en los meses de verano (diciembre, enero y febrero), existiendo varios registros por sobre los 30 °C, mientras que en la época invernal la máximas son cercanas a los 10 °C.

Y finalmente en Punta Arenas, las mínimas dentro de los meses de invierno pueden descender hasta los -18,7 °C cuando llegan olas polares. Los veranos son fríos, aunque en ocasiones pueden presentarse olas u ondas cálidas que elevan anormalmente la temperatura a 25 °C.

Para efectos de demostración, se tomará la ciudad de Concepción.

Concepción:

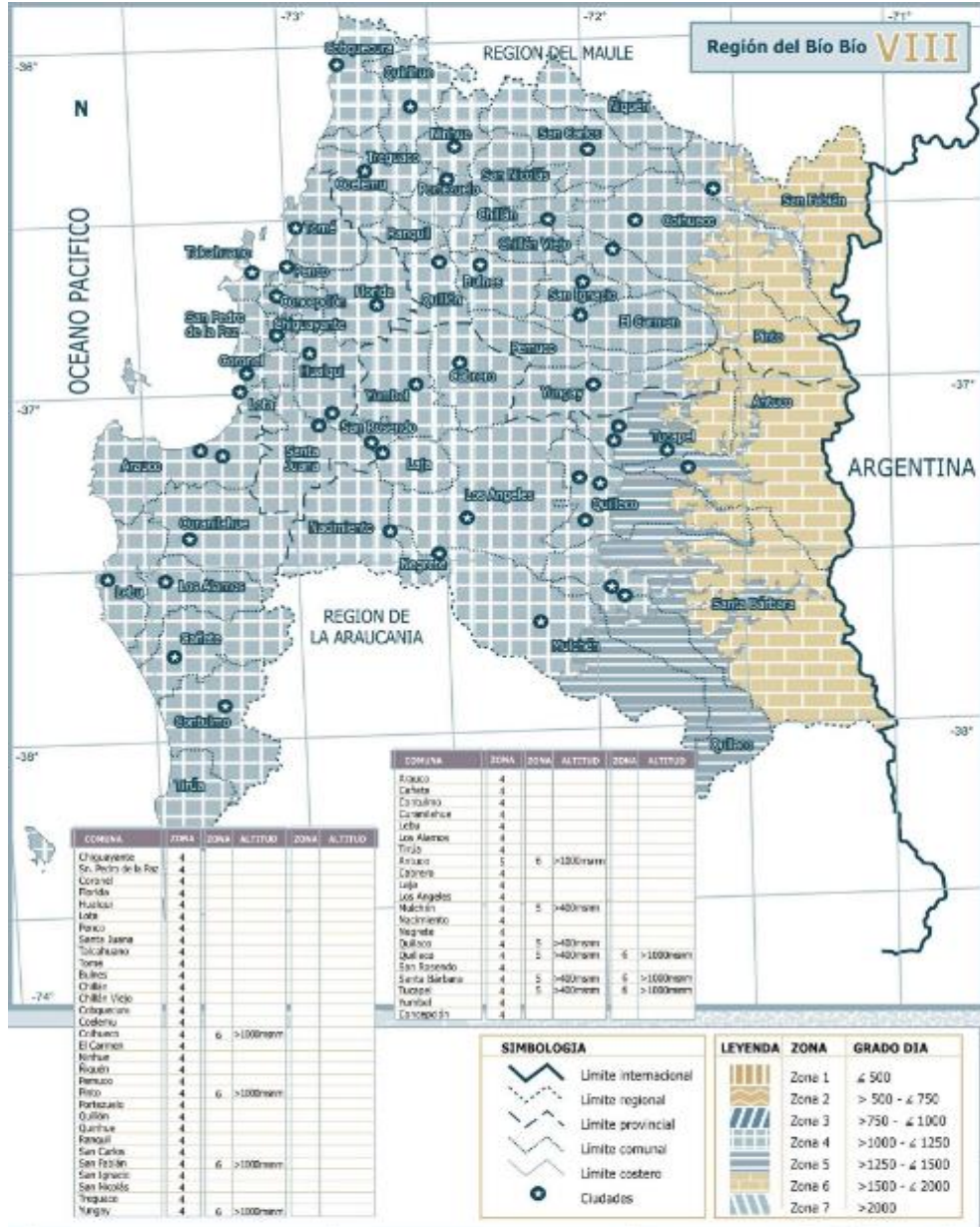


Figura n°8: “Mapa Zona climática de Concepción”.

Fuente: Plano de Zonificación Térmica.

## **CAPITULO 5: Desarrollo del Proyecto.**

### **5.1.- Descripción.**

Con las ciudades definidas se va a realizar el cálculo para la obtención de la pérdida de calor total que tiene el recinto; teniendo como dato fundamental la temperatura ambiente de cada ciudad. Para cada ciudad la temperatura es netamente distinta, por lo que los resultados tendrán una variación dependiendo de cada ciudad.

Las temperaturas se determinan en el periodo desde las 07:00 hasta las 19:00 por día, 5 días por semana (Lunes a Viernes) y desde Abril hasta Septiembre en el año.

Definidas las temperaturas, el recinto a dimensionar tendrá un volumen con respecto a la cantidad de alumnos que se encuentren en el lugar y el volumen de aire que entrega según la norma OGUC (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones). Según la norma y además según el nivel de escolaridad, se tomara un recinto para educación superior y educación de adultos con un volumen de aire de 4.5 (m<sup>3</sup>/alumno) (tabla 2). El resultado será el volumen del recinto medido en m<sup>3</sup>.

La cantidad de alumnos se obtiene dependiendo del caudal que entregue el recuperador de calor y el flujo del aire que entrega por alumno. El caudal va a depender del tipo de recuperador que se va a utilizar y el flujo del aire tiene un valor de 5 (lt/s\*alumno).

El dimensionamiento del recinto tiene un volumen respectivo y para el estudio esto se va a dividir según las partes que conforman el recinto; siendo estas partes la techumbre, los muros y el piso ventilado. Cada una de estas partes tiene un área específica, la cual sirve para determinar la pérdida de calor que se produce en cada una de ellas.

Otro tipo de pérdida de calor será por medio de la renovación de aire, en donde la pérdida se da por condiciones ambientales del recinto, tomando en consideración el flujo másico del aire con respecto al caudal del recuperador.

El resultado de ambas pérdidas de calor y de la suma entre ambas, define la pérdida total de calor con respecto al recinto evaluado en condiciones ambientales.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se determinará el consumo de energía del recuperador de calor.

El recuperador de calor a utilizar será de un modelo sin calefacción añadida, instalación de forma horizontal y con un intercambiador de flujos cruzados.

En el caso de la ubicación del recinto, puede que esté ubicado en el centro de la universidad (aislado completamente) o dentro de un edificio (en cualquier piso, dependiendo del tamaño del edificio). Para este caso el recinto está en el tercer piso de un edificio, ubicado en un sector esquinado; siendo este edificio de solamente tres pisos.

Lo anterior permite saber cuál es la arquitectura del recinto para poder implementar el recuperador de calor y ver si es factible; dependiendo de las características y funciones que pueda cumplir.

## 5.2.- Cálculo de la pérdida total de calor.

La pérdida de calor total se refiere a la suma de la pérdida de calor por transmisión y la pérdida de calor por renovación de aire. En este caso se considera el período de evaluación total, o sea, de abril hasta septiembre.

$$Q_{p\acute{e}rdida} = Q_{transm.} + Q_{renov.} \quad (1)$$

Siendo:

$Q_{p\acute{e}rdida}$  = Pérdida total de energía en el recinto (Wh).

$Q_{transm.}$  = Pérdida total por transmisión de calor (Wh).

$Q_{renov.}$  = Pérdida total por renovación de aire (Wh).

### 5.2.1.- Cálculo de la pérdida total por transmisión de calor.

La pérdida total por transmisión de calor ( $Q_{transm.}$ ) se refiere a la suma de las pérdidas de calor de la techumbre, los muros y el piso ventilado del recinto; su fórmula es:

$$Q_{transm.} = \sum_{i=1}^n U_i * A_i * (T_{recinto} - T_{amb.}) + \sum_{j=1}^m U_j * A_j * (T_{recinto} - T_{RNC}) \quad (2)$$



Siendo:

$i$  = Techumbres, muros o pisos ventilados comunicados con el exterior.

$j$  = Techumbres, muros o pisos ventilados comunicados con espacios no calefaccionados.

$Q_{transm.}$  = Pérdida total por transmisión de calor (Wh).

$U_{i,j}$  = Transmitancia térmica ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

$A_{i,j}$  = Área de transferencia de calor ( $m^2$ ).

$T_{recinto}$  = Temperatura del recinto aprox. 21 ( $^\circ C$ ).

$T_{amb.}$  = Temperatura del ambiente ( $^\circ C$ ).

$T_{RNC}$  = Temperatura de recinto no calefaccionado aprox. 10 ( $^\circ C$ ).

La transmitancia térmica se obtiene de la Tabla 1.

El área de transferencia de calor se obtiene del dimensionamiento de la techumbre, de los muros y del piso ventilado.

El cálculo del recinto tiene como datos importantes la dimensión del recinto, la cantidad de alumnos que se encuentran dentro y sobre que partes del recinto se está efectuando la transmisión de calor. Para ello se necesitan tres tipos de caudales que tienen los recuperadores de calor para poder dimensionar y además determinar cuántos alumnos hay en el interior del recinto.

#### Primer recinto

Caudal: 490 ( $m^3/h$ )

Volumen de aire: 4,5 ( $m^3/alumno$ )

Ventilación: 5 ( $lt/s \cdot alumno$ ) = 18 ( $m^3/h \cdot alumno$ )

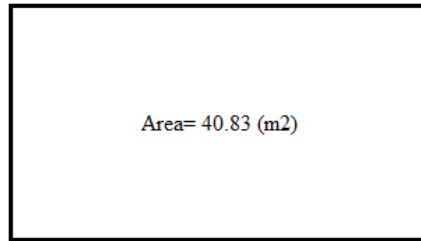
$$Cantidad\ de\ alumnos = \frac{Caudal}{Ventilacion} = \frac{490 \left(\frac{m^3}{h}\right)}{18 \left(\frac{m^3}{h \cdot alumno}\right)} = 27,22\ alumnos = 27\ alumnos$$

$$Volumen\ del\ recinto = cant.\ alumnos * volumen\ de\ aire = 27\ alumnos * 4,5 \left(\frac{m^3}{alumno}\right)$$

$$Volumen\ del\ recinto = 122,5\ (m^3)$$

Suponiendo una altura de 3 (m) se obtiene el área de la techumbre, siendo la misma para el piso ventilado:

$$Area = \frac{Volumen\ del\ recinto}{Altura} = \frac{122,5\ (m^3)}{3\ (m)} = 40,83\ (m^2)$$



**Figura n°9:** “Vista superior del recinto”.  
**Fuente:** Elaboración propia.

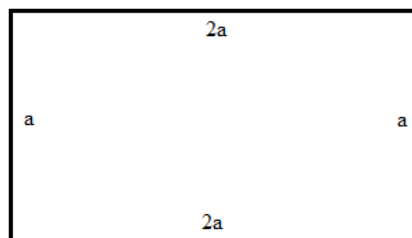
Definida el área de la techumbre y piso ventilado, se va a emplear una fórmula de área para definir los lados respectivos.

$$Area = 2a * a$$

Siendo:

Área= área de la techumbre.

a= lado de la techumbre.



**Figura n°10:** “Lados definidos según formula de área en la vista superior del recinto”.  
**Fuente:** Elaboración propia.

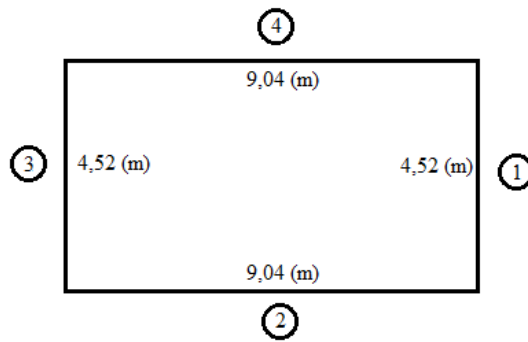
Despejando la incógnita “a” se obtiene:

$$a = \sqrt{\frac{Area}{2}} = \sqrt{\frac{40,83 (m2)}{2}} = 4,52 (m)$$

Primer lado  $a = 4,52 \text{ (m)}$

Segundo lado  $2a = 2 * 4,52 \text{ (m)} = 9,04 \text{ (m)}$

Por lo tanto la figura del recinto en la vista superior se define así:

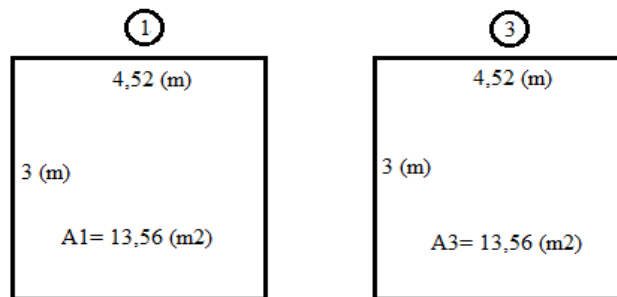


**Figura n°11:** “Enumeración definida según los lados del recinto”.  
**Fuente:** Elaboración propia.

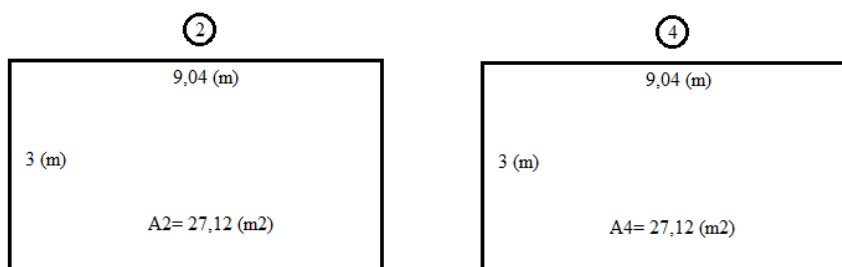
Sabiendo los lados de la techumbre y también la altura del recinto se obtiene las áreas para cada muro.

$$\text{Area muros 2 y 4} = 9,04 \text{ (m)} * 3 \text{ (m)} = 27,12 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{Area muros 1 y 3} = 4,52 \text{ (m)} * 3 \text{ (m)} = 13,56 \text{ (m}^2\text{)}$$



**Figura n°12:** “Vistas laterales del recinto”.  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura n°13:** “Vista frontal (2) y posterior (4) del recinto”.

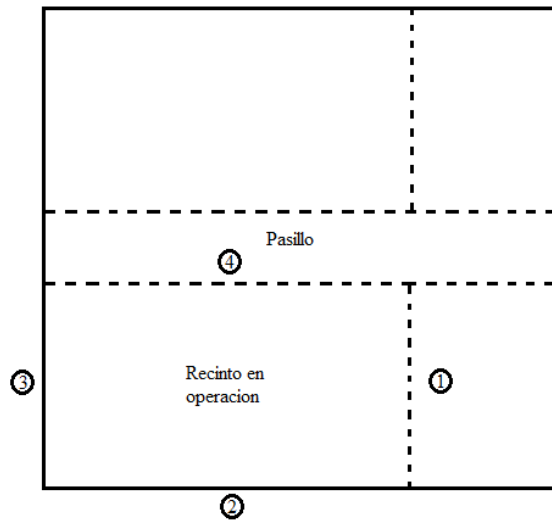
**Fuente:** Elaboración propia.

Para los otros dos recintos las vistas de los muros, techumbre y piso ventilado vienen siendo las mismas que las del primer recinto, por lo que solamente se interpretarán los cálculos del volumen y las áreas respectivas.

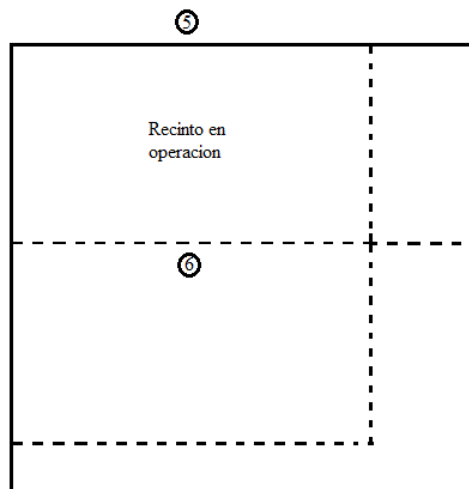
**TABLA 4:** Dimensionamiento de los recintos según el caudal respectivo.

Recinto	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Cantidad de alumnos	Área Muro 1 (m <sup>2</sup> )	Área Muro 2 (m <sup>2</sup> )	Área Muro 3 (m <sup>2</sup> )	Área Muro 4 (m <sup>2</sup> )	Área Piso Ventilado (m <sup>2</sup> )	Área Techumbre (m <sup>2</sup> )
Segundo	2.400	133	30	60	30	60	200	200
Tercero	8.000	444	54,77	109,54	54,77	109,54	666,67	666,67

Definidas las dimensiones del recinto se emplea a continuación su ubicación en el edificio para realizar los cálculos correspondientes de pérdidas de calor:



**Figura n°14:** "Vista superior de la ubicación del recinto".  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura n°15:** "Vista frontal de la ubicación del recinto".  
**Fuente:** Elaboración propia.

Siendo:

1, 2, 3 y 4= Muros del recinto.

5= Techumbre del recinto.

6= Piso ventilado del recinto.

Las diferencias de temperaturas están relacionadas con respecto a la temperatura ambiente, temperatura de recinto y la temperatura del recinto no calefaccionado (esta viene siendo la temperatura que hay en el pasillo del edificio). Por lo tanto se tendrán 3 tipos de deltas de temperaturas, donde el primero  $\Delta T1$  se refiere a la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura del recinto, el segundo  $\Delta T2$  se refiere a la diferencia de temperaturas entre recintos, siendo este valor cero, y por ultimo  $\Delta T3$  será la diferencia entre la temperatura del recinto y la temperatura del recinto no calefaccionado.

Para el  $\Delta T3$  la temperatura del recinto no calefaccionado tiene un valor de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximado dependiendo si la temperatura ambiente tiene un valor menor a los  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Si el valor es mayor a los  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  se toma la diferencia entre temperatura del recinto y temperatura ambiente.

De acuerdo a la ubicación del recinto se puede afirmar que los muros 2 y 3 se encuentran a temperatura ambiente por lo que estarán relacionados con el  $\Delta T1$ ; el muro 1 está en contacto con el muro del otro recinto por lo que estará relacionado con el  $\Delta T2$ ; el muro 4 estará en contacto con el pasillo por lo que estará relacionado con el  $\Delta T3$ .

La techumbre está en contacto con el ambiente, pero se asegura que hay un entretecho por lo que la temperatura existente en este caso viene siendo la misma que hay en el pasillo, por lo tanto se ocupa el  $\Delta T3$ ; el piso ventilado está en contacto con la techumbre del recinto que se encuentra por debajo del recinto en evaluación, por lo tanto se ocupa el  $\Delta T2$ .

Definidas las diferencias de temperaturas para cada parte del recinto, sean los muros, techumbre y piso ventilado, se hará el cálculo de la pérdida de calor por transmisión. Teniendo en cuenta de la gran cantidad de datos se toma como ejemplo el día de referencia del mes de junio, la ciudad de Concepción y el primer recinto dimensionado.

**TABLA 5:** Definición del día de referencia con su horario y temperatura respectiva.

Mes del año	Día del mes	Día de la semana	Horario definido (hrs)	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura recinto (°C)	$\Delta T1$ °C	$\Delta T2$ °C	$\Delta T3$ °C
Junio	11	lunes	7	3,1	21	17,9	0,0	11,0
Junio	11	lunes	8	2,7	21	18,3	0,0	11,0
Junio	11	lunes	9	3,9	21	17,1	0,0	11,0
Junio	11	lunes	10	5,2	21	15,8	0,0	11,0
Junio	11	lunes	11	7,6	21	13,4	0,0	11,0
Junio	11	lunes	12	9,8	21	11,2	0,0	11,0
Junio	11	lunes	13	12,0	21	9,0	0,0	9,0
Junio	11	lunes	14	13,2	21	7,8	0,0	7,8
Junio	11	lunes	15	13,8	21	7,2	0,0	7,2
Junio	11	lunes	16	13,9	21	7,1	0,0	7,1
Junio	11	lunes	17	13,1	21	7,9	0,0	7,9
Junio	11	lunes	18	11,4	21	9,6	0,0	9,6
Junio	11	lunes	19	11,0	21	10,0	0,0	10,0

**TABLA 6:** Resultados de las pérdidas por transmisión de calor por cada muro, de la techumbre y del piso ventilado, junto con la sumatoria total por cada hora transcurrida.

Q transm. Calor Muro 1 (Wh)	Q transm. Calor Muro 2 (Wh)	Q transm. Calor Muro 3 (Wh)	Q transm. Calor Muro 4 (Wh)	Q transm. Calor Techumbre (Wh)	Q transm. Calor Piso ventilado (Wh)	Q transm. Calor Total (Wh)
0,0	825,0	412,5	507,0	170,7	0,0	1.915,1
0,0	843,4	421,7	507,0	170,7	0,0	1.942,8
0,0	788,1	394,1	507,0	170,7	0,0	1.859,8
0,0	728,2	364,1	507,0	170,7	0,0	1.770,0
0,0	617,6	308,8	507,0	170,7	0,0	1.604,0
0,0	516,2	258,1	507,0	170,7	0,0	1.451,9
0,0	414,8	207,4	414,8	139,7	0,0	1.176,6
0,0	359,5	179,7	359,5	121,0	0,0	1.019,8
0,0	331,8	165,9	331,8	111,7	0,0	941,3
0,0	327,2	163,6	327,2	110,2	0,0	928,2
0,0	364,1	182,0	364,1	122,6	0,0	1.032,8
0,0	442,4	221,2	442,4	149,0	0,0	1.255,1
0,0	460,9	230,4	460,9	155,2	0,0	1.307,4
					Q trans. Calor del día (Wh/día)	18.204,9

Las tablas anteriores demuestran la variación de la pérdida de calor por transmisión a medida que transcurre la hora en un día normal.

### 5.2.2.- Cálculo de la pérdida por renovación de aire.

La pérdida total de calor por renovación de aire ( $Q_{\text{renov.}}$ ) se refiere a la pérdida de calor que se da por medio de las condiciones ambientales del recinto, teniendo en cuenta que el flujo másico del aire se obtiene mediante el caudal del recuperador y el peso específico del aire. La importancia de este caudal se debe a que se necesita un caudal de referencia y más adelante se hará una diferencia con respecto a lo que entrega el recuperador en funcionamiento. Su fórmula es la siguiente:

$$Q_{\text{renov.}} = \sum \dot{m}_a * C_p * (T_{\text{recinto}} - T_{\text{amb.}}) \quad (3)$$

Siendo:

$Q_{\text{renov.}}$  = Pérdida total por renovación de aire (Wh).

$\dot{m}_a$  = Flujo másico del aire (kg/s).

$C_p$  = Calor específico del aire 1007 (J/kg\*°C).

$T_{\text{recinto}}$  = Temperatura del recinto aprox. 21 (°C).

$T_{\text{amb.}}$  = Temperatura del ambiente (°C).

El flujo másico se obtiene de la siguiente fórmula:

$$\dot{m}_a = \gamma * C.R. \quad (4)$$

Siendo:

$\gamma$  = peso específico del aire (kg/m<sup>3</sup>)

C.R. = caudal del recuperador de calor (m<sup>3</sup>/h)

Como en el caso anterior de las pérdidas de calor por transmisión se tomará el mismo ejemplo, teniendo como dato adicional el caudal del recuperador que tendrá un valor de 490 (m<sup>3</sup>/h).

El peso específico tiene un valor aproximado de 1,293 (kg/m<sup>3</sup>).

$$\dot{m}_a = \gamma * C.R. = 1,293 \left( \frac{kg}{m^3} \right) * 490 \left( \frac{m^3}{h} \right) = 633,57 \left( \frac{kg}{h} \right) = 0,176 \left( \frac{kg}{s} \right)$$



**TABLA 7:** Resultados de la pérdida de calor por renovación de aire por cada hora transcurrida.

Mes del año	Día del mes	Día de la semana	Horario definido (hrs)	T ambiente °C	T. Recinto °C	ΔT1 °C	Q renovacion (Wh)
Junio	11	lunes	7	3,1	21	17,9	3.172,30
Junio	11	lunes	8	2,7	21	18,3	3.243,19
Junio	11	lunes	9	3,9	21	17,1	3.030,52
Junio	11	lunes	10	5,2	21	15,8	2.800,13
Junio	11	lunes	11	7,6	21	13,4	2.374,80
Junio	11	lunes	12	9,8	21	11,2	1.984,90
Junio	11	lunes	13	12,0	21	9,0	1.595,01
Junio	11	lunes	14	13,2	21	7,8	1.382,34
Junio	11	lunes	15	13,8	21	7,2	1.276,01
Junio	11	lunes	16	13,9	21	7,1	1.258,29
Junio	11	lunes	17	13,1	21	7,9	1.400,07
Junio	11	lunes	18	11,4	21	9,6	1.701,35
Junio	11	lunes	19	11,0	21	10,0	1.772,24
						Q renovacion Total (Wh/dia)	26.991,16

La pérdida total de calor es la siguiente:

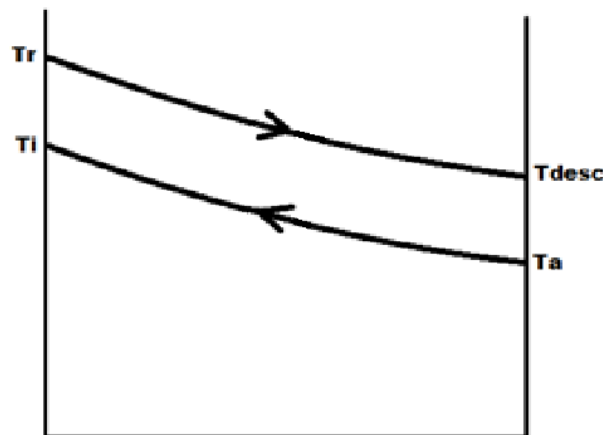
**TABLA 8:** Pérdida total por transmisión de calor y pérdida por renovación de aire, junto con la sumatoria total por cada hora transcurrida.

Q transm. Calor Total (Wh)	Q renovacion (Wh)	Q perdida Total (Wh)
1.915,13	3.172,30	5.087,44
1.942,79	3.243,19	5.185,98
1.859,83	3.030,52	4.890,35
1.769,95	2.800,13	4.570,09
1.604,04	2.374,80	3.978,83
1.451,94	1.984,90	3.436,85
1.176,64	1.595,01	2.771,65
1.019,76	1.382,34	2.402,10
941,31	1.276,01	2.217,32
928,24	1.258,29	2.186,53
1.032,83	1.400,07	2.432,90
1.255,08	1.701,35	2.956,43
1.307,38	1.772,24	3.079,62
	Q perdida Total (Wh/dia)	45.196,08

Como conclusión la energía perdida para el día 11 de junio en la ciudad de Concepción es de 45.196,08 (Wh/día).

### 5.3.- Cálculo del consumo de energía del recuperador de calor.

El cálculo del consumo de energía permite determinar la cantidad de energía que consume el recuperador de calor al momento de operar en el recinto dimensionado. Para ello se requiere la temperatura de impulsión: esta temperatura es la que entra hacia el recinto de forma limpia y saludable pero con menor cantidad (mayor a la temperatura ambiente y menor a la temperatura del recinto). Su cálculo es el siguiente:



$$\eta = \frac{T_i - T_a}{T_r - T_a}$$

$$T_i = [\eta * (T_r - T_a)] + T_a \quad (5)$$

Siendo:

$T_i$ = Temperatura de impulsión (°C).

$\eta$ = Rendimiento del recuperador (%).

$T_a$ = Temperatura del ambiente (°C).

$T_r$ = Temperatura del recinto aprox. 21 (°C).

La “Tdesc” se refiere a la temperatura deseable; cuando se hace el intercambio de calor entre la temperatura del recinto y la temperatura ambiente, gran parte de ese intercambio entra al recinto de forma limpia, mientras que el resto solamente se va hacia el exterior en forma de desecho y no se toma en consideración para ningún uso.

El rendimiento del recuperador de calor es fundamental en el cálculo, ya que determina una gran efectividad durante los meses de operación.

La evaluación se realizará para tres valores de rendimientos; 60%, 70% y 80%.

Definida la temperatura de impulsión y los tipos de rendimientos a utilizar, se realizará el cálculo del consumo de energía del recuperador de calor (esto permitirá determinar bajo que condiciones de operación el recuperador de calor es rentable), la fórmula a utilizar será:

$$Q_{recuperador} = \dot{m}_a * C_p * (T_{recinto} - T_i) \quad (6)$$

Siendo:

$Q_{recuperador}$ = Consumo de energía del recuperador de calor (Wh).

$\dot{m}_a$ = Flujo másico del aire (kg/s).

$C_p$ = Calor específico del aire 1007 (J/kg\*°C).

$T_i$ = Temperatura de impulsión (°C).

$T_{recinto}$ .= Temperatura del recinto aprox. 21 (°C).

Como ejemplo se tomará el mismo caso anterior (ciudad de Concepción, día de referencia del mes de junio, caudal recuperador de 490 (m<sup>3</sup>/h)) con un rendimiento del 60%.

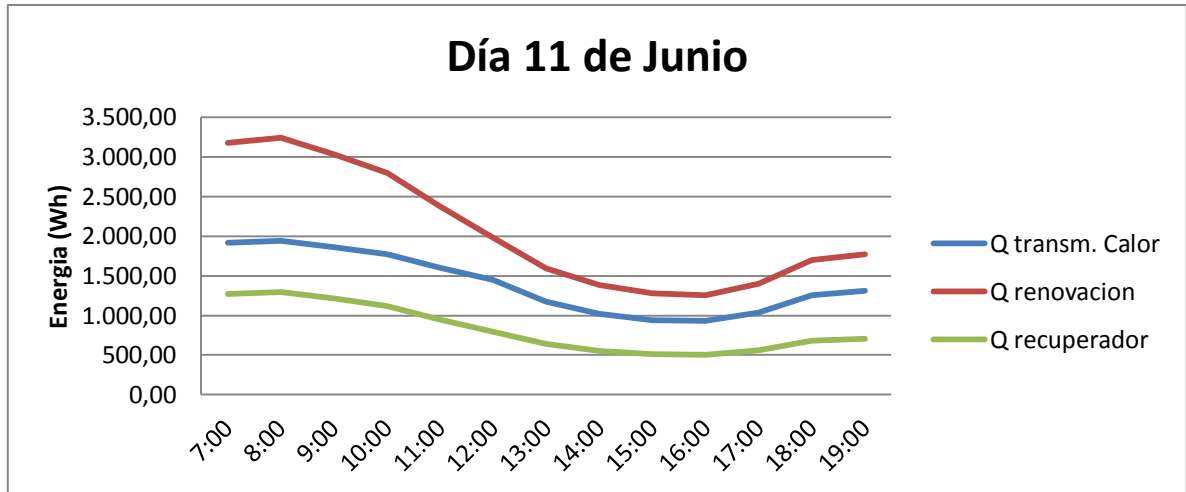
**TABLA 9:** Resultados del consumo de energía del recuperador de calor por cada hora transcurrida.

Mes del año	Día del mes	Día de la semana	Horario definido (hrs)	T ambiente °C	T. Recinto °C	T impulsión °C	Consumo de Energía Recuperador (Wh)
Junio	11	lunes	7	3,1	21	13,84	1.268,92
Junio	11	lunes	8	2,7	21	13,68	1.297,28
Junio	11	lunes	9	3,9	21	14,16	1.212,21
Junio	11	lunes	10	5,2	21	14,68	1.120,05
Junio	11	lunes	11	7,6	21	15,64	949,92
Junio	11	lunes	12	9,8	21	16,52	793,96
Junio	11	lunes	13	12,0	21	17,4	638,00
Junio	11	lunes	14	13,2	21	17,88	552,94
Junio	11	lunes	15	13,8	21	18,12	510,40
Junio	11	lunes	16	13,9	21	18,16	503,32
Junio	11	lunes	17	13,1	21	17,84	560,03
Junio	11	lunes	18	11,4	21	17,16	680,54
Junio	11	lunes	19	11,0	21	17	708,89
						Q recuperador Total (Wh/día)	10.796,46

Los resultados obtenidos anteriormente pueden ser apreciados de mejor forma en una gráfica; esta gráfica permite ver la variación de la energía consumida por el recuperador y las pérdidas de calor del recinto.

**TABLA 10:** Total de las energías en forma horaria del día 11 de junio.

Hora	Q transm. Calor Total	Q renovacion	Q recuperador
7:00	1915,13	3172,303	1268,92
8:00	1942,79	3243,192	1297,28
9:00	1859,83	3030,524	1212,21
10:00	1769,95	2800,133	1120,05
11:00	1604,04	2374,796	949,92
12:00	1451,94	1984,904	793,96
13:00	1176,64	1595,012	638,00
14:00	1019,76	1382,344	552,94
15:00	941,31	1276,010	510,40
16:00	928,24	1258,288	503,32
17:00	1032,83	1400,067	560,03
18:00	1255,08	1701,347	680,54
19:00	1307,38	1772,236	708,89



**Figura 16:** “Representación gráfica total de las energías en forma horaria del día 11 de junio”.

**Fuente:** Elaboración propia basado en cálculos obtenidos.

#### 5.4.- Cálculo del ahorro y el período de recuperación.

La energía producida en el recinto y la energía que produce el recuperador de calor tienen un costo; este costo implica el precio de la energía por cada hora transcurrida.

Para la obtención del costo se requiere un tipo de combustible y este será el gas licuado, que tiene un costo de 1.100 (\$/Kg).

**TABLA 11:** Obtención del Kg/h de cada energía.

Horas	Combustible a utilizar	Poder Calorífico (Kw-h/kg)	Costo combustible (\$/kg)	Transm. Calor (Kg/h)	Renovación (Kg/h)	Consumo Recuperador (Kg/h)
7:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,150	0,248	0,099
8:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,152	0,253	0,101
9:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,145	0,237	0,095
10:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,138	0,219	0,087
11:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,125	0,186	0,074
12:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,113	0,155	0,062
13:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,092	0,125	0,050
14:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,080	0,108	0,043
15:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,074	0,100	0,040
16:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,073	0,098	0,039
17:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,081	0,109	0,044
18:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,098	0,133	0,053
19:00	gas_licuado	12,80	1.100	0,102	0,138	0,055

Las energías de transmisión de calor, renovación y del recuperador de calor se pasan a Kg/h para efectos de cálculo de costos.

**TABLA 12:** Obtención del ahorro total.

Precio por hora que entrega la transm. Calor (\$/h)	Precio por hora que entrega la renovación (\$/h)	Precio por hora que entrega el recuperador (\$/h)	Ahorro (\$/h)
164,6	272,6	109,0	163,5
166,9	278,7	111,5	167,2
159,8	260,4	104,2	156,2
152,1	240,6	96,2	144,4
137,8	204,1	81,6	122,4
124,8	170,6	68,2	102,3
101,1	137,1	54,8	82,2
87,6	118,8	47,5	71,3
80,9	109,6	43,9	65,8
79,8	108,1	43,2	64,9
88,7	120,3	48,1	72,2
107,8	146,2	58,5	87,7
112,3	152,3	60,9	91,4
		Ahorro Total (\$/día)	1.391,5

Obtenido el costo por hora de cada energía se requiere un ahorro. El ahorro es la diferencia entre la energía del recinto en cuanto a su renovación de aire y la energía que consume el recuperador de calor. El total del ahorro es referente al día, o sea en el día 11 de junio se ahorra 1391,52 (\$/día).

Esto es llevado a un ahorro mensual y que tiene un total de 41.745,6 (\$/mes).

Para los demás meses se tendrán resultados distintos y que al sumarlos (desde abril hasta septiembre) se obtiene el precio total anual (\$/año).

Este precio total anual (\$/año → US\$/año) al dividirlo por el costo total de la inversión (precio del recuperador de calor (US\$) más el costo de la instalación) se obtiene el “periodo de recuperación”, que sirve para saber en cuantos años se puede recuperar la inversión que se hace en el recuperador de calor.

Los precios de los recuperadores de calor son los siguientes:

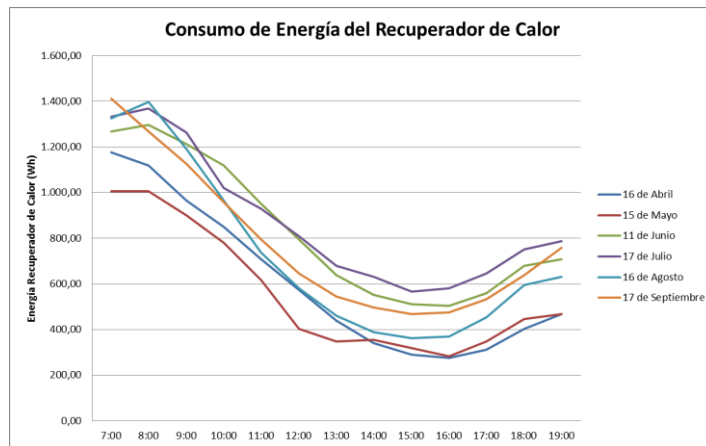
**TABLA 13:** Modelos del recuperador de calor con sus respectivos caudales y precios.

Modelo Recuperador	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Precio €/u	Precio US\$/u
CADB-N D 5 F7+F7	490	1.530,57	1.689
CADB-N D 23 F7+F7	2.400	3.165,72	3.493
CADT-N D 80 F7+F7	8.000	7.298,55	8.054

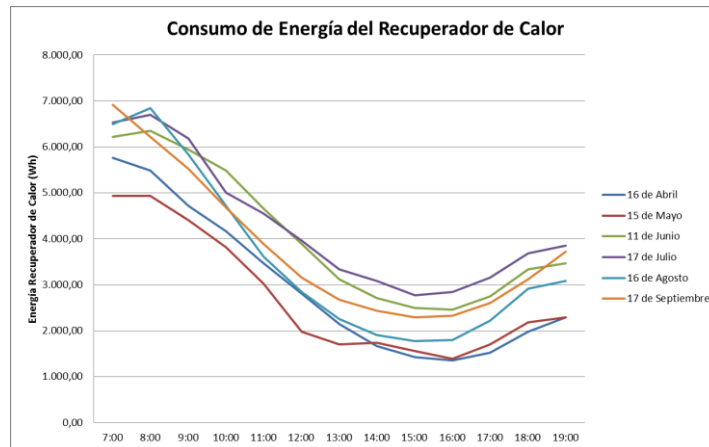
**CAPITULO 6: Resultados obtenidos y conclusión.**

**6.1.- Representación gráfica del consumo de energía del recuperador en los días de referencias de cada mes en el período de evaluación.**

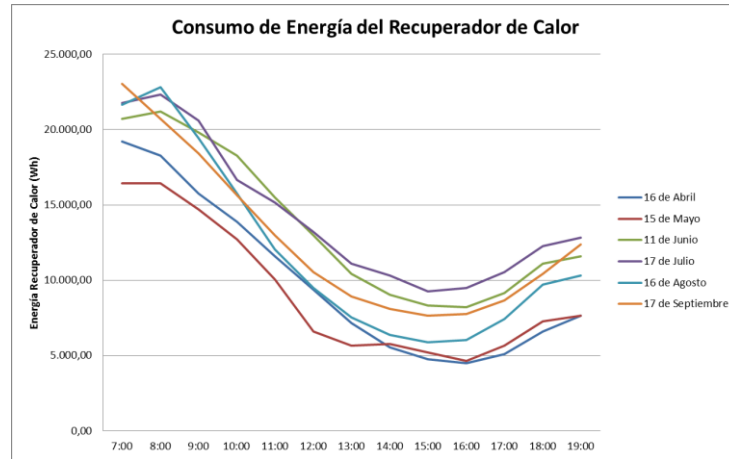
**Concepción:**



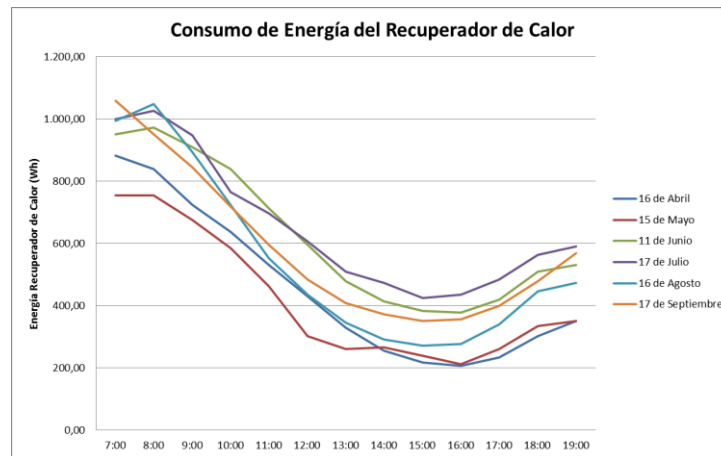
**Figura 17:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 60%) Concepción”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



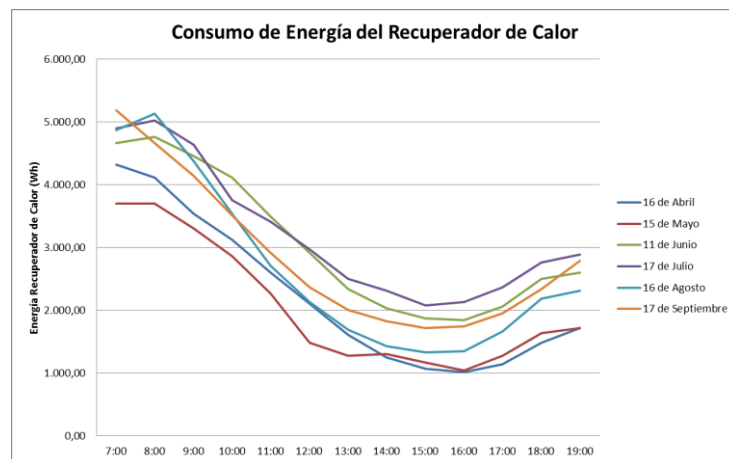
**Figura 18:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 60%) Concepción”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



**Figura 19:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 60%) Concepción”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

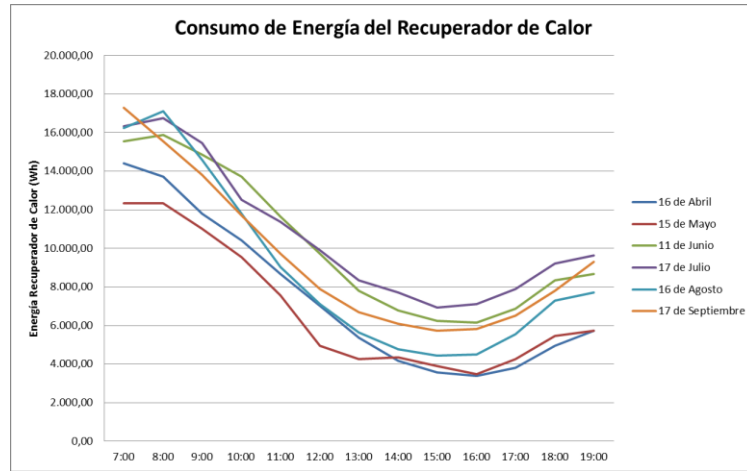


**Figura 20:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 70%) Concepción”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

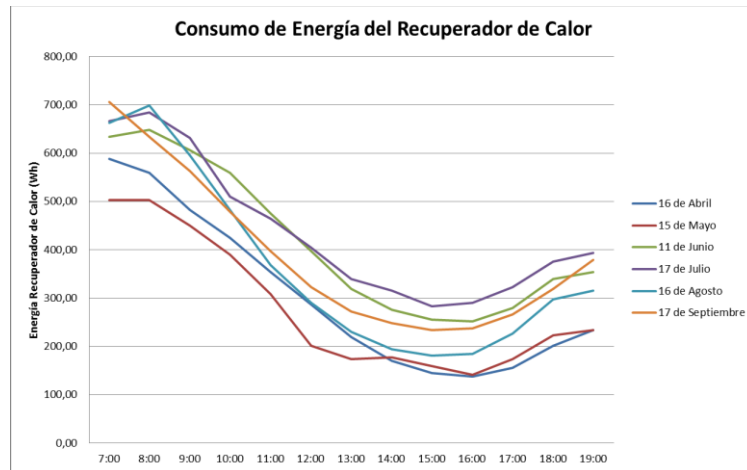


**Figura 21:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 70%) Concepción”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

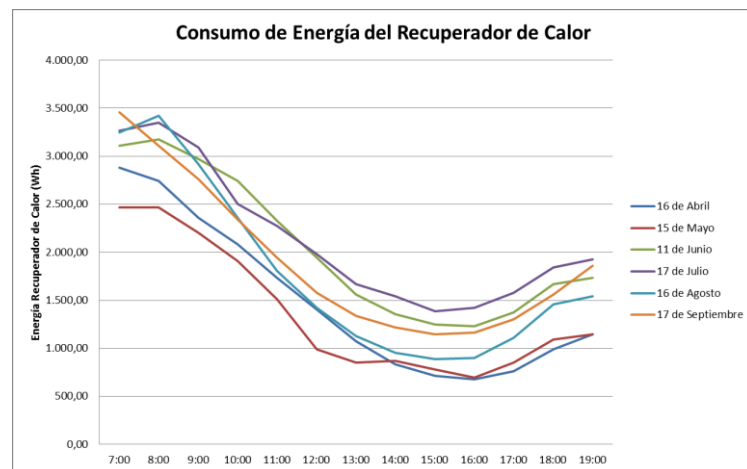




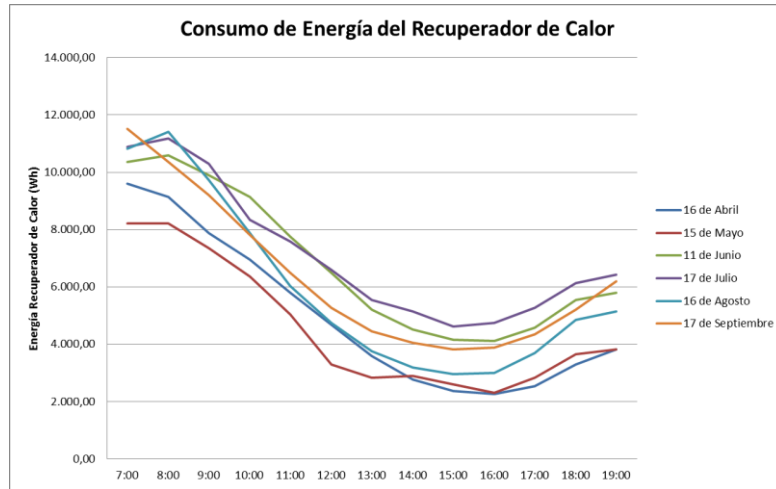
**Figura 22:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 70%) Concepción”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



**Figura 23:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 80%) Concepción”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



**Figura 24:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 80%) Concepción”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

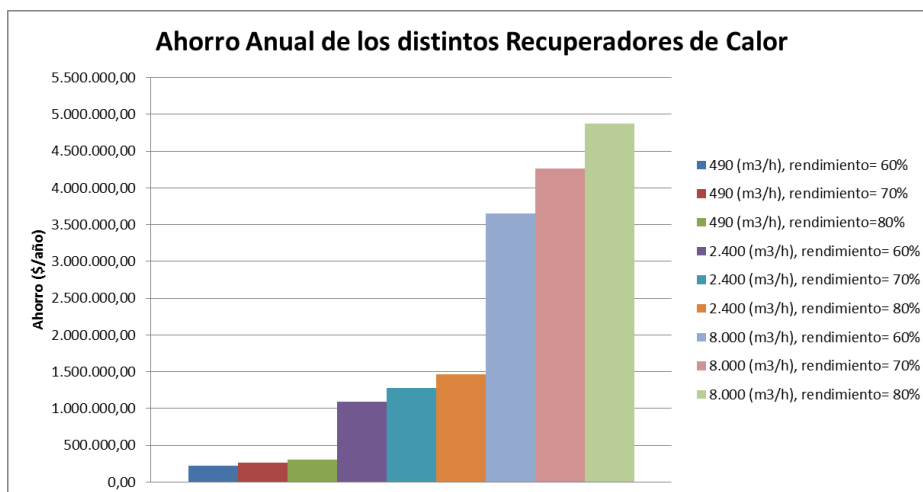


**Figura 25:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 80%) Concepción”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

**6.2.- Representación gráfica del ahorro anual.**

TABLA 14: Ahorro anual de cada recuperador de calor con sus respectivos rendimientos y caudales en Concepción.

	Caudal (m3/h)	Ahorro Anual (\$/año)
	490	223.779,82
60%	2.400	1.096.064,41
	8.000	3.653.548,04
	490	261.076,45
70%	2.400	1.278.741,82
	8.000	4.262.472,72
	490	298.373,09
80%	2.400	1.461.419,22
	8.000	4.871.397,39



**Figura 26:** “Representación gráfica del ahorro anual en Concepción”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

### 6.3.- Obtención del período de recuperación.

**TABLA 15:** Inversión total con respecto a cada recuperador de calor.

Modelo Recuperador	Caudal (m³/h)	Precio (US\$/u)	Costo instalación (40%)	Costo Total (US\$)
CADB-N D 5 F7+F7	490	1.689	676	2.365
CADB-N D 23 F7+F7	2.400	3.493	1.397	4.890
CADT-N D 80 F7+F7	8.000	8.054	3.222	11.276

Con respecto a los ahorros anuales que aparecen en la tabla 14 se obtendrá el periodo de recuperación.

**TABLA 16:** Períodos de recuperación en la ciudad de Concepción.

	490 (m³/h)	2.400 (m³/h)	8.000 (m³/h)
Rendimiento (%)	Recuperación (años)	Recuperación (años)	Recuperación (años)
60	7,1	3	2,1
70	6,1	2,6	1,8
80	5,3	2,2	1,6

**6.4.- Resultados totales con respecto a las demás ciudades.**TABLA 17: Períodos de recuperación en la ciudad de Santiago:

	490 (m <sup>3</sup> /h)	2.400 (m <sup>3</sup> /h)	8.000 (m <sup>3</sup> /h)
Rendimiento (%)	Recuperación (años)	Recuperación (años)	Recuperación (años)
60	9,1	3,8	2,6
70	7,8	3,3	2,3
80	6,8	2,9	2

TABLA 18: Períodos de recuperación en la ciudad de Valdivia:

	490 (m <sup>3</sup> /h)	2.400 (m <sup>3</sup> /h)	8.000 (m <sup>3</sup> /h)
Rendimiento (%)	Recuperación (años)	Recuperación (años)	Recuperación (años)
60	5,7	2,4	1,7
70	4,9	2,1	1,4
80	4,3	1,8	1,2

TABLA 19: Períodos de recuperación en la ciudad de Punta Arenas:

	490 (m <sup>3</sup> /h)	2.400 (m <sup>3</sup> /h)	8.000 (m <sup>3</sup> /h)
Rendimiento (%)	Recuperación (años)	Recuperación (años)	Recuperación (años)
60	4,2	1,8	1,2
70	3,6	1,5	1
80	3,1	1,3	0,9

## 6.5.- Conclusión.

En relación a los resultados obtenidos anteriormente y con respecto a cada ciudad, se puede concluir lo siguiente:

Para la ciudad de Santiago el periodo de recuperación abarca desde un máximo de 9 años y un mínimo de 2, por lo tanto, la utilización de un recuperador de calor no es tan efectivo debido a que las temperaturas en el exterior son elevadas en invierno con respecto a las demás ciudades por lo que implica una recuperación muy elevada teniendo en cuenta una inversión alta con respecto al equipo y su costo de instalación.

En Concepción, los periodos de recuperación tienen un máximo de 7,1 años y un mínimo de 2 años, por lo que se puede implementar el recuperador de calor. Puede que sean similares a los de Santiago, pero con una diferencia media de dos años, afecta en la implementación o en la no implementación de un recuperador de calor. Esto se debe a la cantidad de ahorro que se obtiene en el periodo de evaluación, ya que al tener una menor cantidad de ahorro se necesita un mayor periodo para poder recuperarla, entonces esa diferencia media de dos años implica un tiempo en que el ahorro tiende a ser mayor para la ciudad de Concepción y menor para la ciudad de Santiago.

En la ciudad de Valdivia, a diferencia de las ciudades anteriores, tiende a tener una diferencia sumamente alta, con un máximo de 5,7 años y un mínimo de 1,2 años. En este tipo de resultado es necesaria la implementación de un recuperador de calor, porque en Valdivia las temperaturas son estrictamente más bajas que las ciudades anteriores, por lo que requiere un tipo de calefacción adecuado.

Finalmente, en la ciudad de Punta Arenas, se dio como resultado un periodo de recuperación de un margen adecuado y apto para poder implementar el recuperador de calor: el periodo máximo fue de 4,2 años y el mínimo de 0,9 años; este último al llevarlo a meses serían 10,8 meses.

Al llevar esa cantidad de meses a días daría un total de 324 días, por lo que se concluye que el recuperador de calor de máximo caudal y a un mayor rendimiento recupera la inversión en un menor tiempo con respecto a los demás recuperadores aplicados en la misma ciudad y también hacia las otras ciudades.

## **7.- Bibliografía**

- Apuntes S&P Sistemas de ventilación, Recuperadores de Calor.
- Apunte SODECA, Recuperador de Calor y Unidad de Filtración.
- Microsoft Excel 2010.
- Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) Abril 2014 (final).
- Planos de zonificación térmica.
- Apuntes Evaluación Demanda Energética, proyecto de equipos e instalaciones térmicas.  
Prof. Reinaldo Sánchez A.
- Apunte Costo Combustible y Energía, Prof. Reinaldo Sánchez A.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), actualizado a abril de 2013.
- Manual de generalidades y características de los recuperadores de calor, AIRTECNICS.

## 8.- ANEXOS

### 8.1.- Mapas de zonas climáticas restantes.

#### 8.1.1.- Santiago:

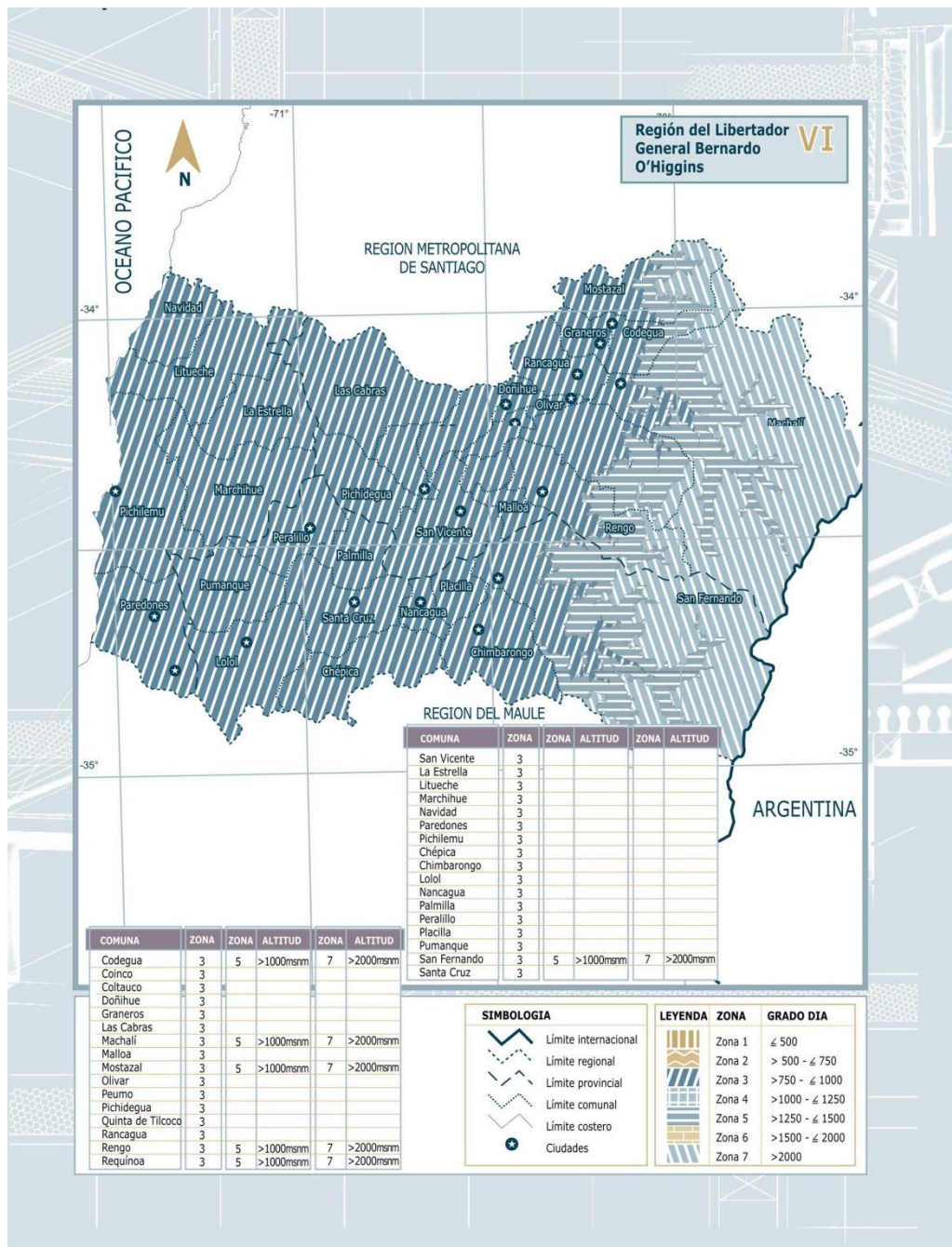


Figura 27: "Mapa Zona climática de Santiago".

Fuente: Plano de Zonificación Térmica.



8.1.2.- Valdivia:

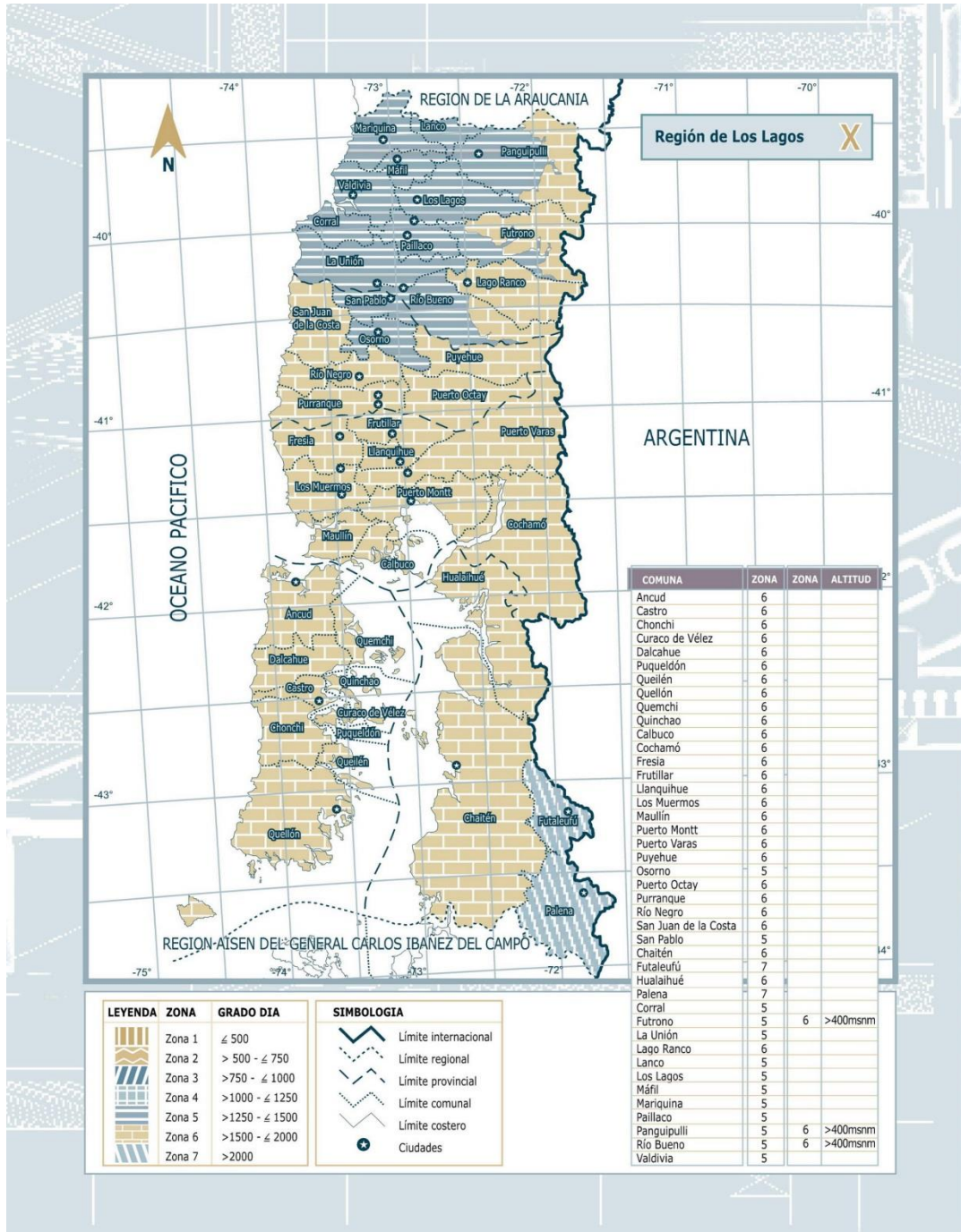


Figura 28: “Mapa Zona climática de Valdivia”.  
Fuente: Plano de Zonificación Térmica.



8.1.3.- Punta Arenas:

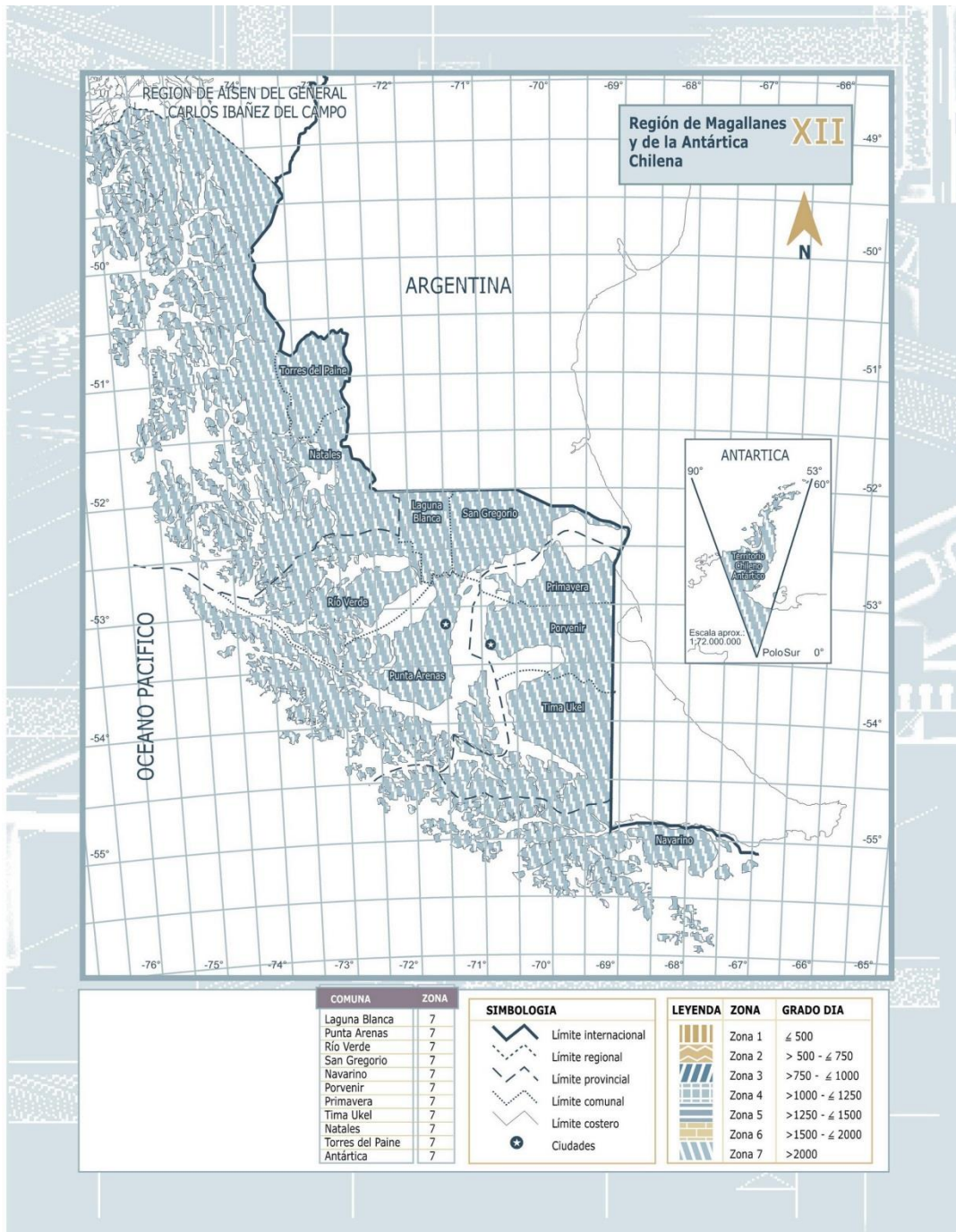
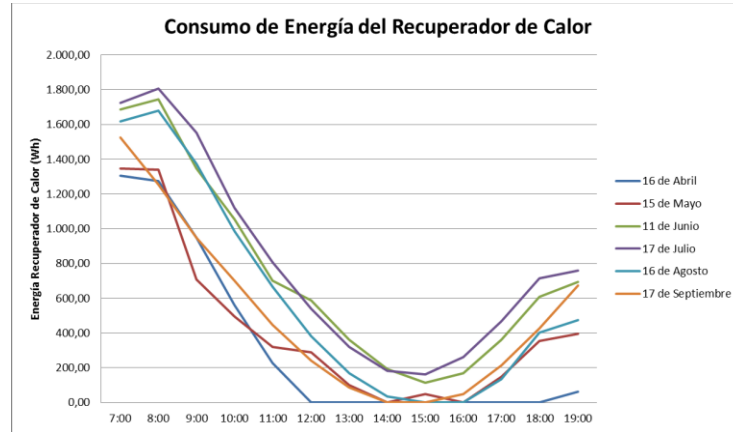


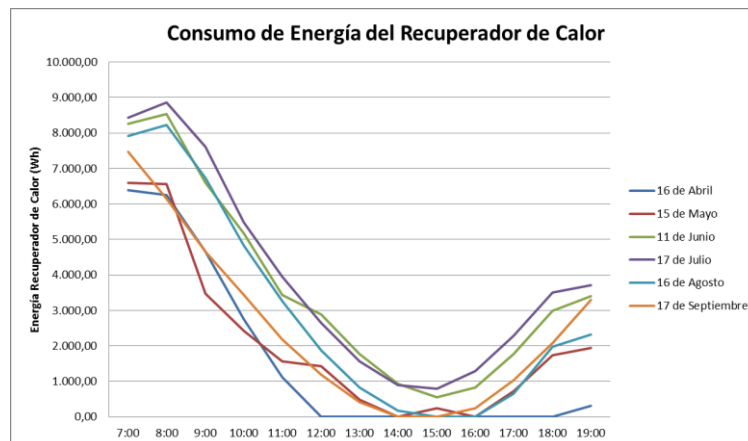
Figura 29: “Mapa Zona climática de Punta Arenas”.  
 Fuente: Plano de Zonificación Térmica.

## 8.2.- Representación gráfica del consumo de energía de las demás ciudades.

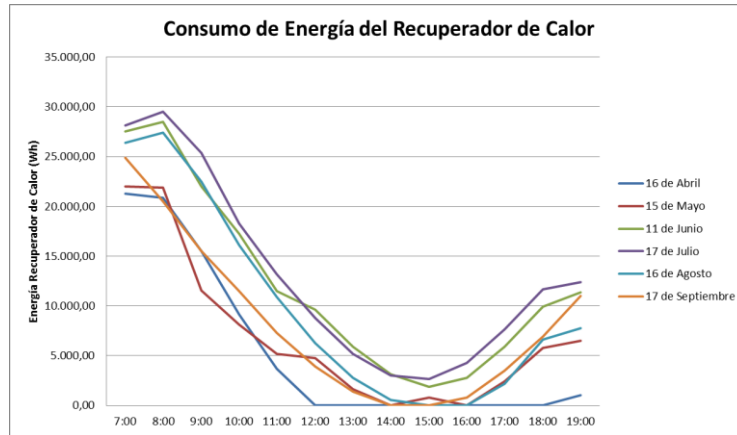
### 8.2.1.- Santiago:



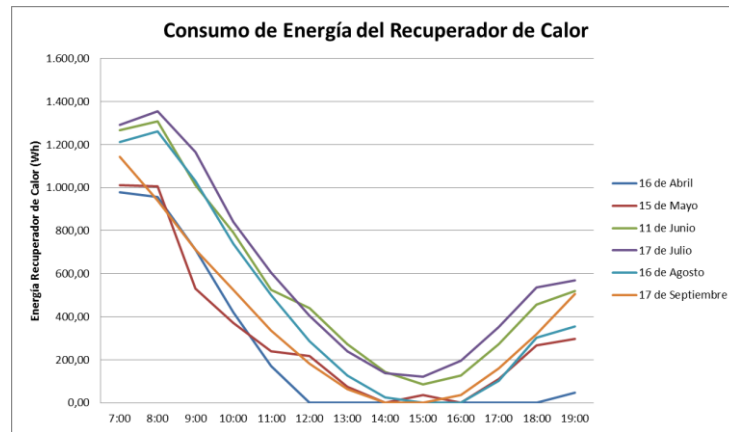
**Figura 30:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 60%) Santiago”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



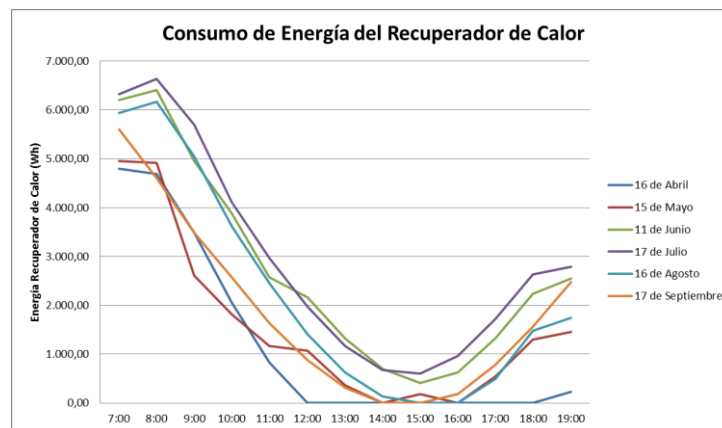
**Figura 31:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 60%) Santiago”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



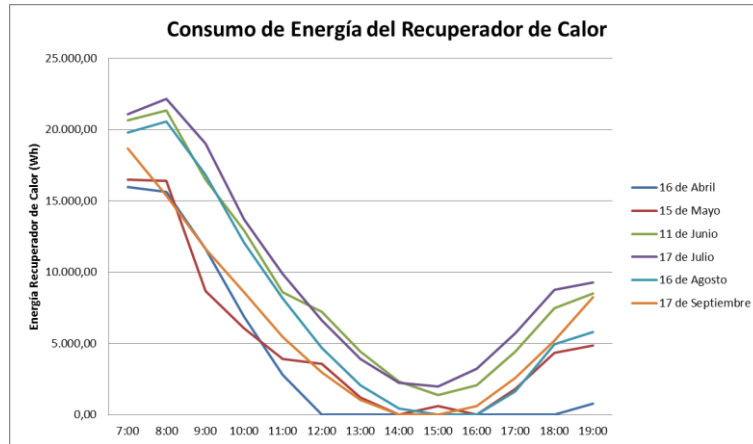
**Figura 32:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 60%) Santiago”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



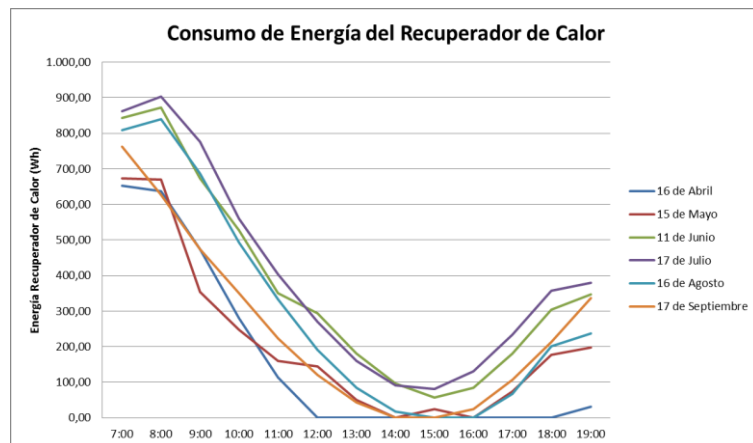
**Figura 33:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 70%) Santiago”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



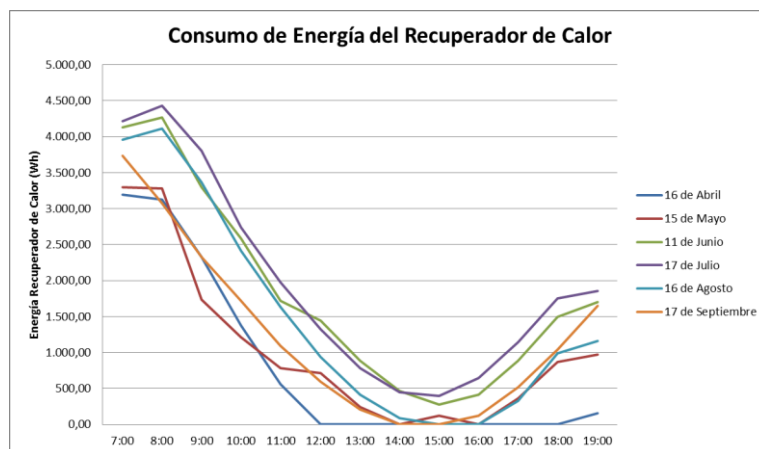
**Figura 34:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 70%) Santiago”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



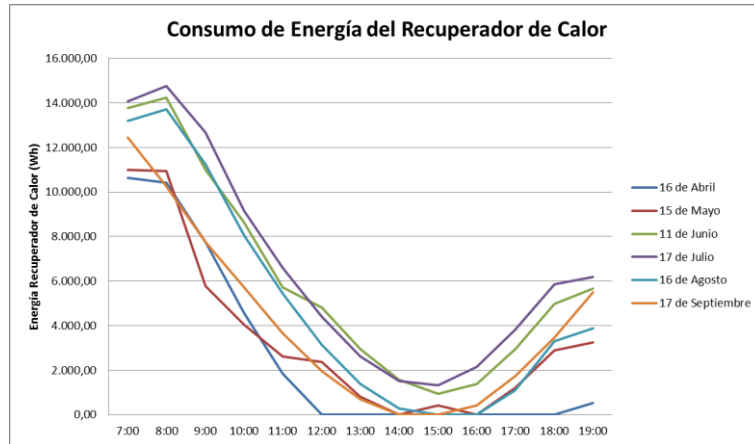
**Figura 35:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 70%) Santiago”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



**Figura 36:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 80%) Santiago”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

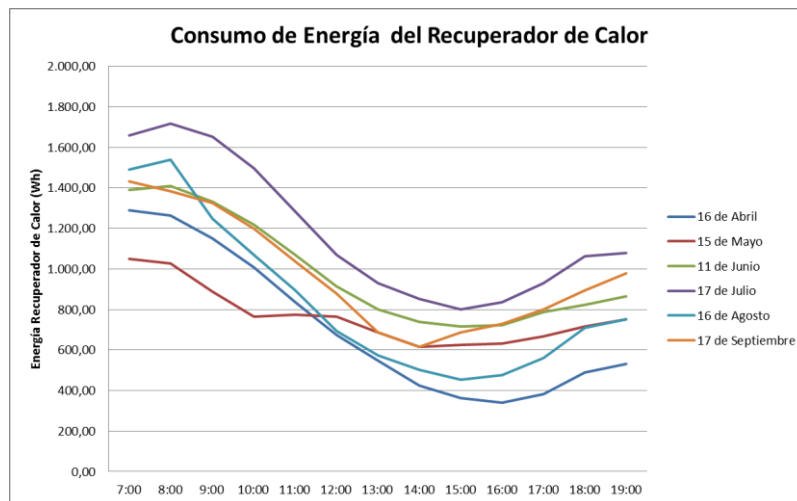


**Figura 37:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 80%) Santiago”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

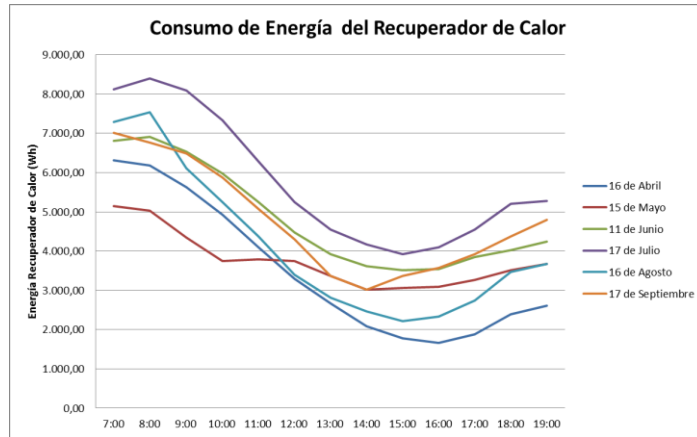


**Figura 38:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 80%) Santiago”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

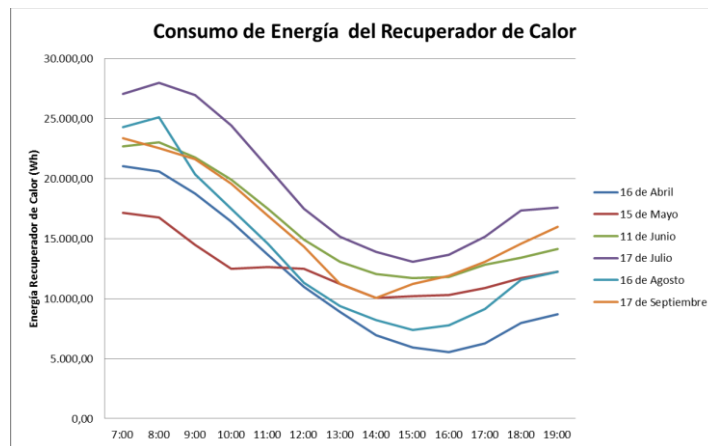
**8.2.2.- Valdivia:**



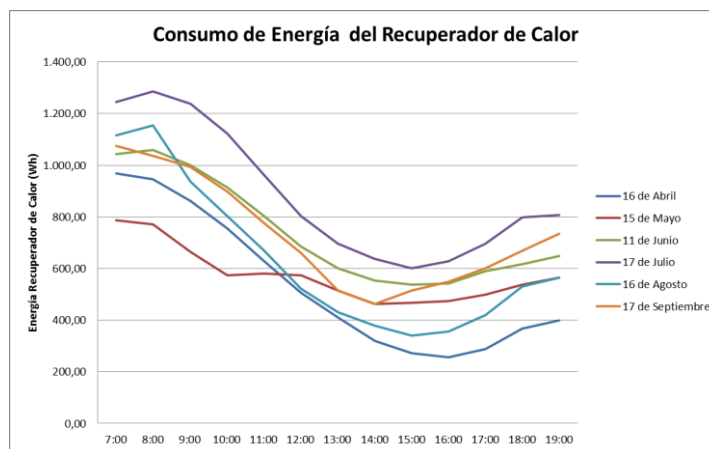
**Figura 39:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 60%) Valdivia”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



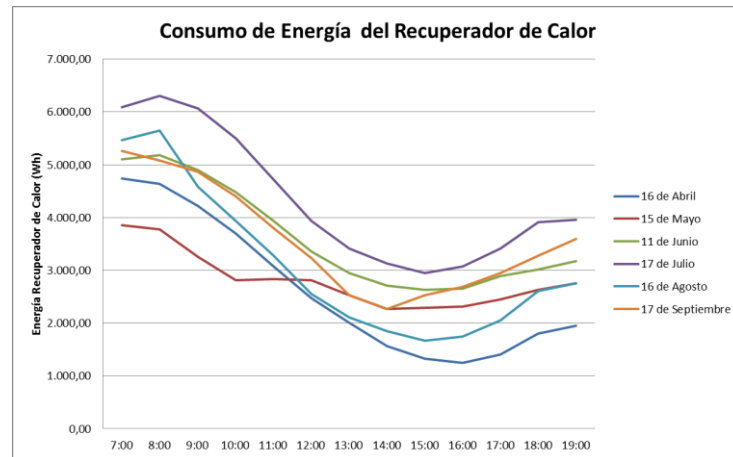
**Figura 40:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 60%) Valdivia”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



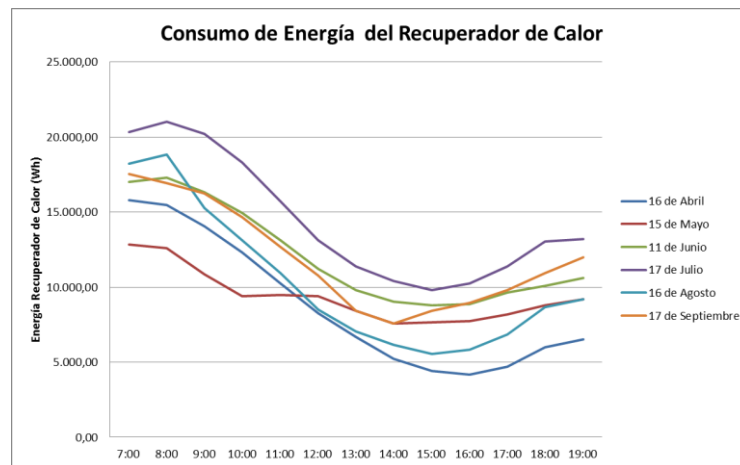
**Figura 41:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 60%) Valdivia”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



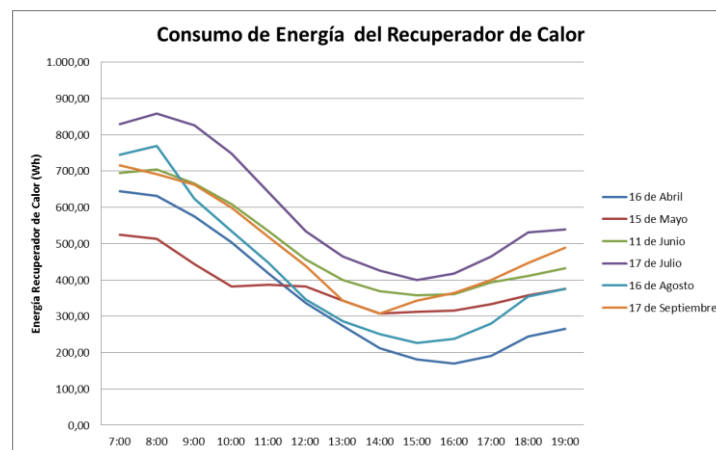
**Figura 42:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 70%) Valdivia”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



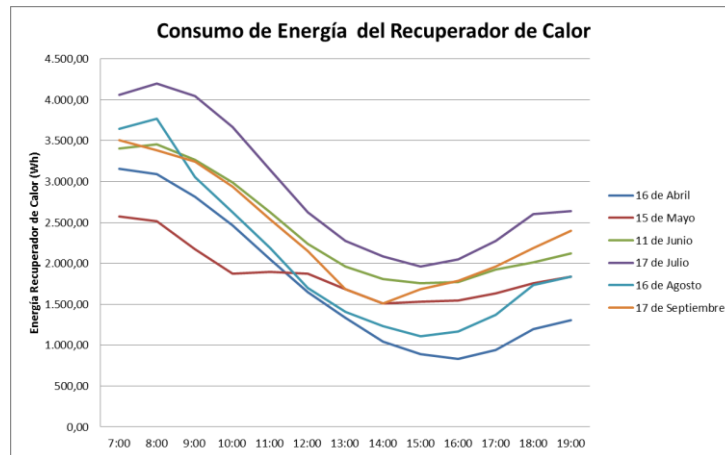
**Figura 43:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 70%) Valdivia”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



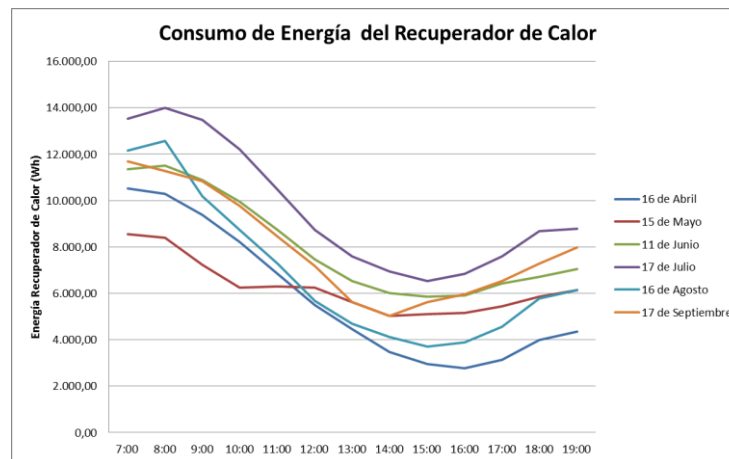
**Figura 44:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 70%) Valdivia”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



**Figura 45:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 80%) Valdivia”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



**Figura 46:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 80%) Valdivia”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



**Figura 47:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 80%) Valdivia”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



8.2.3.- Punta Arenas:

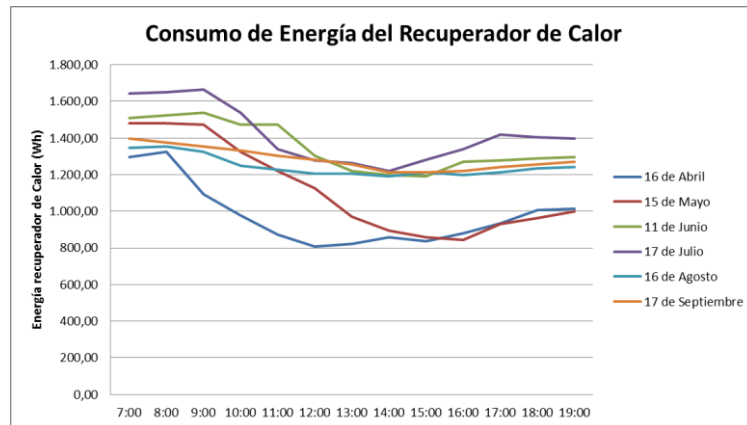


Figura 48: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m³/h) y rendimiento 60%) Punta Arenas”.  
Fuente: Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

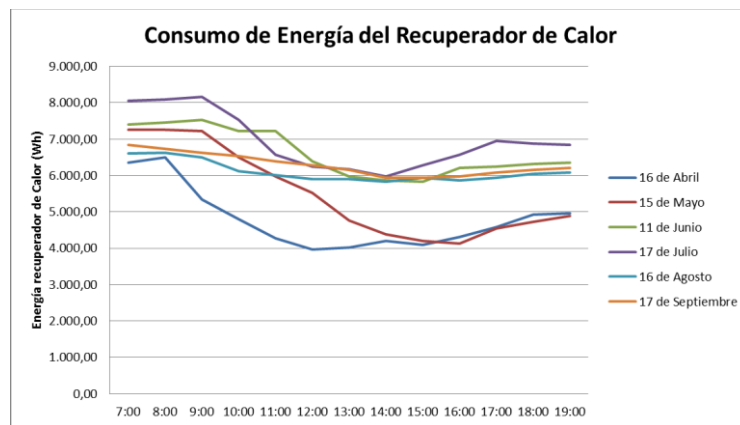


Figura 49: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m³/h) y rendimiento 60%) Punta Arenas”.  
Fuente: Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

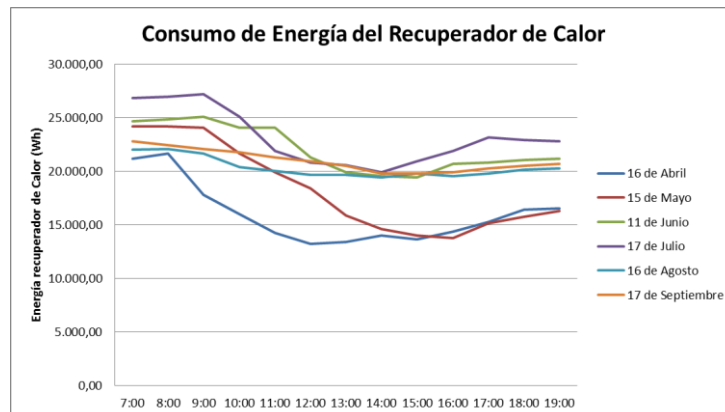
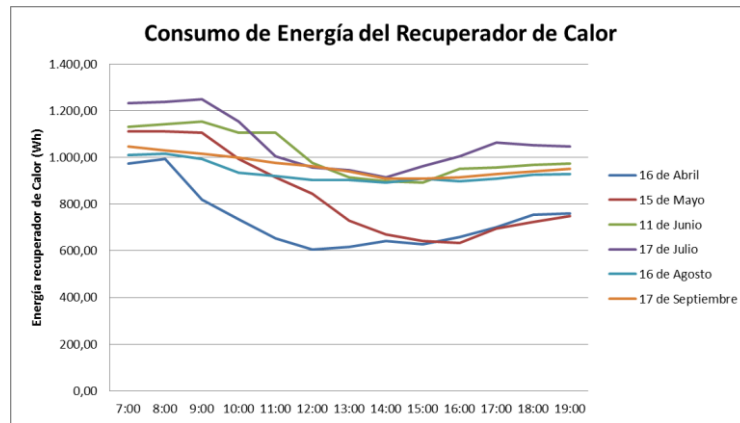
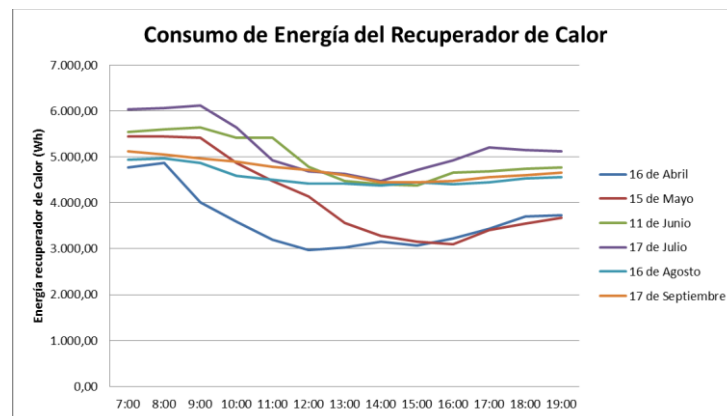


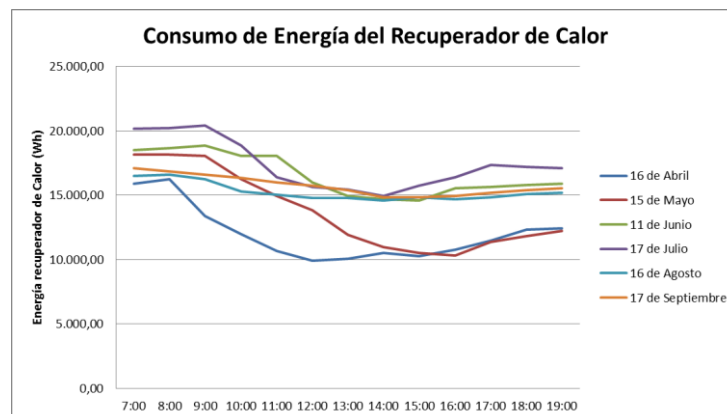
Figura 50: “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m³/h) y rendimiento 60%) Punta Arenas”.  
Fuente: Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



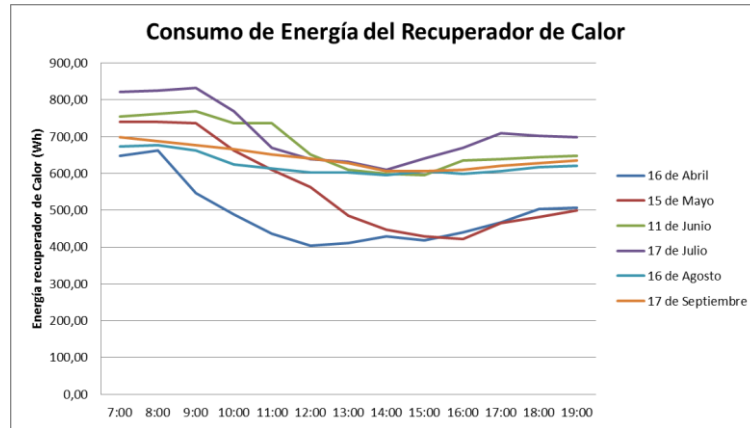
**Figura 51:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 70%) Punta Arenas”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



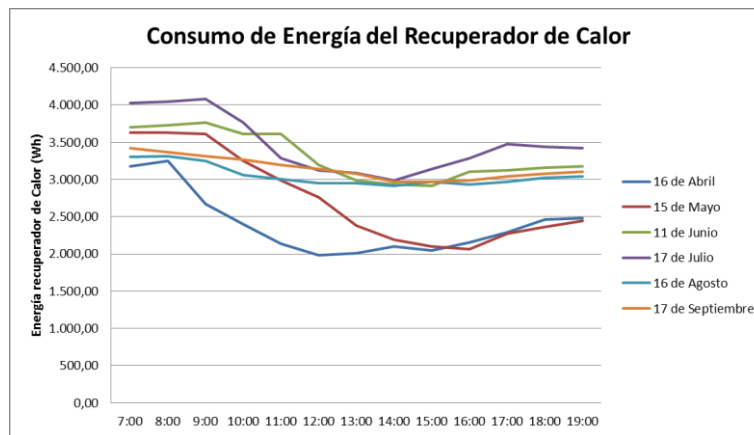
**Figura 52:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 70%) Punta Arenas”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



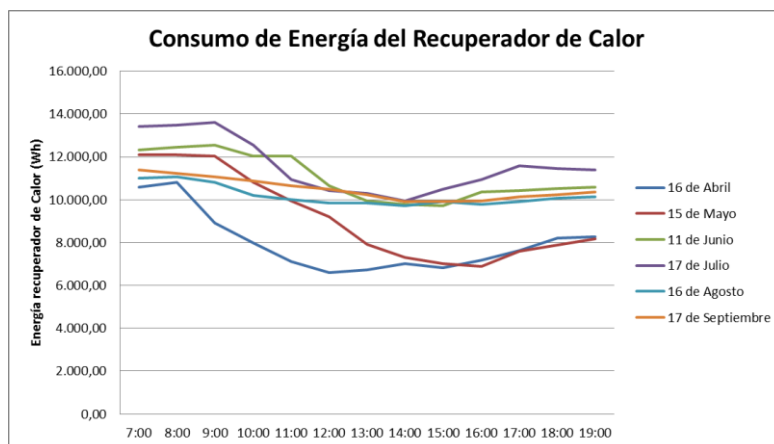
**Figura 53:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 70%) Punta Arenas”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



**Figura 54:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 490 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 80%) Punta Arenas”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



**Figura 55:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 2.400 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 80%) Punta Arenas”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.



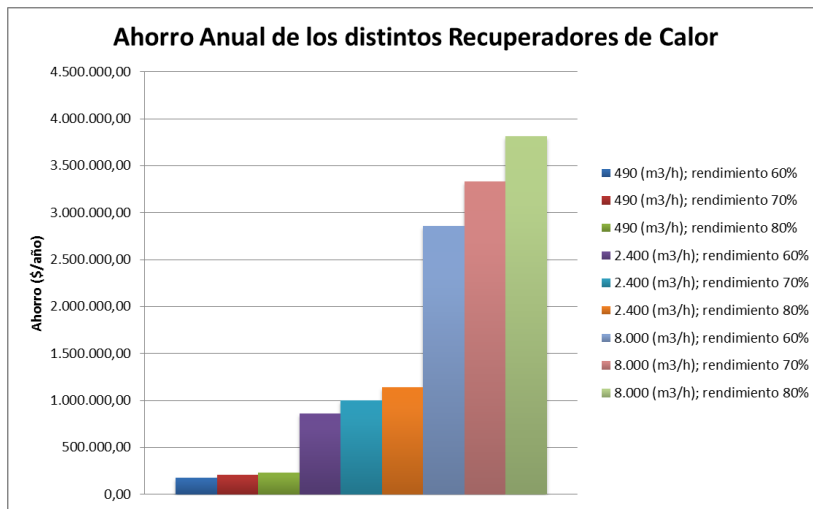
**Figura 56:** “Consumo de energía del recuperador de calor (caudal 8.000 (m<sup>3</sup>/h) y rendimiento 80%) Punta Arenas”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

**8.3.- Representación gráfica del ahorro anual de las demás ciudades.**

**8.3.1.- Santiago:**

TABLA 20: Ahorro anual de cada recuperador de calor con sus respectivos rendimientos y caudales en Santiago.

	Caudal (m3/h)	Ahorro Anual (\$/año)
	490	175.023,62
60%	2.400	857.258,56
	8.000	2.857.528,53
	490	204.194,23
70%	2.400	1.000.134,98
	8.000	3.333.783,28
	490	233.364,83
80%	2.400	1.143.011,41
	8.000	3.810.038,03

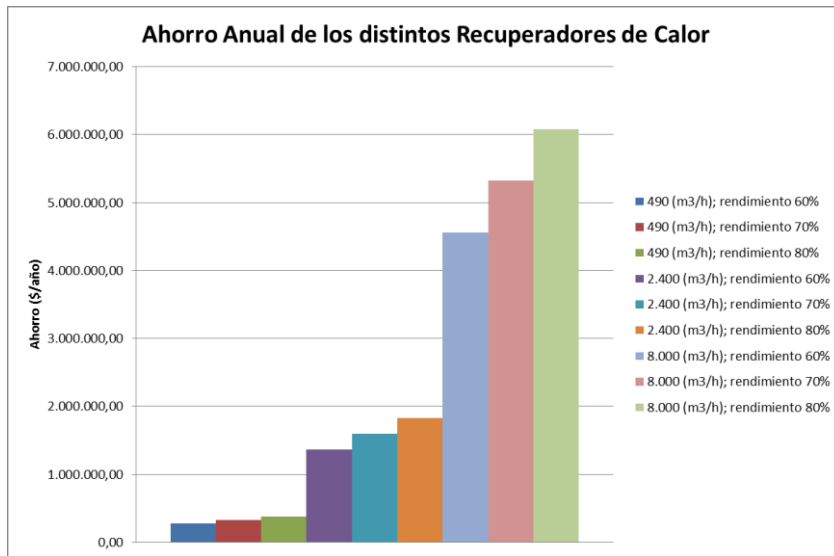


**Figura 57:** “Representación gráfica del ahorro anual en Santiago”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

**8.3.2.- Valdivia:**

TABLA 21: Ahorro anual de cada recuperador de calor con sus respectivos rendimientos y caudales en Valdivia.

	Caudal (m3/h)	Ahorro Anual (\$/año)
60%	490	279.243,27
	2.400	1.367.722,13
	8.000	4.559.073,76
70%	490	325.783,81
	2.400	1.595.675,82
	8.000	5.318.919,39
80%	490	372.324,36
	2.400	1.823.629,50
	8.000	6.078.765,01



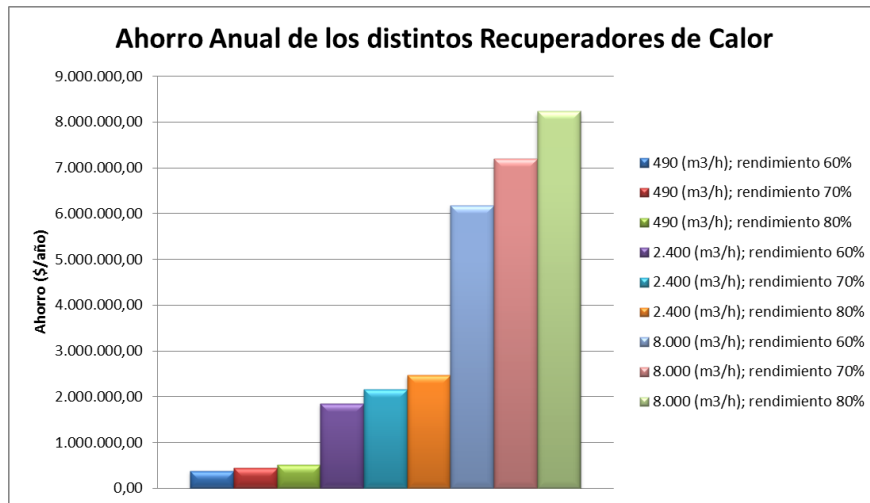
**Figura 58:** “Representación gráfica del ahorro anual en Valdivia”.

**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.

**8.3.3.- Punta Arenas:**

**TABLA 22:** Ahorro anual de cada recuperador de calor con sus respectivos rendimientos y caudales en Punta Arenas.

	Caudal (m3/h)	Ahorro Anual (\$/año)
60%	490	378.324,43
	2.400	1.853.017,62
	8.000	6.176.725,40
70%	490	441.378,50
	2.400	2.161.853,89
	8.000	7.206.179,63
80%	490	504.432,57
	2.400	2.470.690,16
	8.000	8.235.633,87



**Figura 59:** “Representación gráfica del ahorro anual en Punta Arenas”.  
**Fuente:** Elaboración propia basado en resultados obtenidos.